

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Supérieure Vétérinaire d'El Harrach-Alger

Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

Magistère en Sciences Vétérinaires

Option : Zootechnie

Thème

***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***

Présenté par Dr DAHMANI Y.

Devant le jury composé de :

<i>Mr B. BENDEDOUCHE</i>	<i>Maître de Conférences</i>	<i>A</i>	<i>ENSV Alger</i>	<i>Président</i>
<i>Melle H.AINBAZIZ</i>	<i>Maître de Conférences</i>	<i>A</i>	<i>ENSV Alger</i>	<i>Promotrice</i>
<i>Mme S.TEMIM</i>	<i>Maître de Conférences</i>	<i>A</i>	<i>ENSV Alger</i>	<i>Co-promotrice</i>
<i>Mr D. KHELEF</i>	<i>Maître de Conférences</i>	<i>A</i>	<i>ENSV Alger</i>	<i>Examineur</i>
<i>Mr Y. BESSEKOUAD</i>	<i>Maître de Conférences</i>	<i>A</i>	<i>ENSV Alger</i>	<i>Examinatrice</i>
<i>Mme F. HAFSI</i>	<i>Maître Assistante</i>	<i>A</i>	<i>ENSV Alger</i>	<i>Examinatrice</i>

Année Universitaire 2008/2009

Dédicaces

A la mémoire de ma mère

A mon père, à toute ma famille et à tous mes amis.

Remerciements

J'adresse mes plus vifs remerciements à ma promotrice D^r AIN BAZIZ Hacina, qui a assuré l'essentiel de mon encadrement et m'a initié à la recherche. Merci pour sa très grande disponibilité et son aide qui m'ont permis de progresser dans les meilleures conditions pendant cette thèse ainsi que pour la confiance qu'elle m'a accordée.

Mes plus vifs remerciements s'adressent également à ma co-promotrice Dr TEMIM-KESSACI Soraya pour avoir assuré mon encadrement et mon initiation à la recherche scientifique.

Je suis très reconnaissante envers les membres du jury :

Dr B. BENDEDDOUCHE, Maître de Conférences à l'ENSV Alger de m'avoir fait l'honneur de présider le jury,

Dr D. KHELEF, Maître de Conférences à l'ENSV Alger ; Dr Y. BESSEKOUAD, Maître de Conférences à l'ENSV d'Alger et Dr F. HAFSI, Maître Assistante à l'ENSV Alger, d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Je tiens également à remercier les responsables de l'Institut Technique des Elevages (ITELV) de Baba Ali-Alger pour m'avoir permis de réaliser mon expérimentation au sein de la station expérimentale. Je n'oublie pas de remercier tous ceux qui ont directement participé à ce travail.

Je tiens à remercier D^r Larbi Bedrani, qui a partagé le dur travail de l'été 2007, je le remercie pour son aide précieuse et son soutien.

Je souhaite également adresser mes remerciements à Mr ZOUAMBI B., responsable du laboratoire d'analyses biochimiques, d'avoir accepté la réalisation des analyses, ainsi qu'au Pr AISSI M. responsable du laboratoire de parasitologie à l'ENSV d'avoir accepté la réalisation des colorations de lames.

Je tiens à remercier Mme DJELLOUT B. et Dr MOKRANI N. pour leur précieuse aide et leur disponibilité, ainsi qu'à toute l'équipe de techniciens du laboratoire de Biochimie et parasitologie à l'ENSV Melle KERMEZLI M. et Mr SAADI A.

Merci à tous, très sincèrement.

SOMMAIRE

Introduction:	1
----------------------------	----------

ETUDES BIBLIOGRAPHIQUES

Chapitre A :

Température ambiante élevée : capacités adaptatives et conséquences sur la croissance et la physiologie du poulet

I. Température ambiante élevée ou « stress thermique »	3
I.1. Le stress thermique chronique	3
I.2. Le stress thermique aigu	4
II. La thermorégulation chez la volaille	4
II.1. L'homéothermie	4
II.1.1. Diminution de la thermogenèse	5
II.1.2. Augmentation de la thermolyse	5
II.2. La zone de neutralité thermique (zone de thermorégulation)	7
III. Conséquences du stress thermique sur l'ingéré alimentaire, la croissance et la consommation hydrique du poulet	9
IV. Conséquences du stress thermique sur le bilan énergétique du poulet	10
IV.1. Utilisation digestive de l'aliment	10
IV.2. Utilisation métabolique de l'aliment	10
V. Conséquences du stress thermique sur la température corporelle	11
VI. Conséquences du stress thermique sur les modifications hématologique et immunitaire.....	11
VII. Conséquences du stress thermique sur l'équilibre acido-basique	11

- Chapitre B -

Solutions adoptées pour atténuer l'effet défavorable de la température ambiante élevée sur la croissance et la physiologie du poulet

I. Des solutions de différents ordres	12
I.1. Les solutions d'ordre technique	13
I.1.1. Améliorer les conditions d'ambiance.....	13
I.1.2. Réduire la densité	13
I.1.3. Maintenir une litière fraîche	13
I.1.4. Favoriser la consommation d'eau	13

I.2. Les solutions d'ordre alimentaire.....	14
I.3. Les solutions d'ordre génétique.....	14
I.4. La pratique de l'acclimatation	15
I.5. Les solutions d'ordre thérapeutique par l'utilisation d'additifs	16
II. Impact de la restriction alimentaire, de l'utilisation de la vitamine C et des électrolytes sur la croissance, l'équilibre acido-basique et l'immunité du poulet exposé au chaud	18
II.1. Utilisation de la restriction alimentaire	18
II.1.1.Principe	18
II.1.2. Effet de la restriction alimentaire sur la croissance, la consommation d'eau, la température corporelle et la mortalité.....	19
II.1.3. Effet de la restriction d'aliment sur l'équilibre acido-basique.....	20
II.1.4. Effet de la restriction alimentaire sur les réponses hématologique et immunitaire	20
II.2. Utilisation de la vitamine C	21
II.2.1. Effet de l'acide ascorbique sur les performances de croissance, la consommation d'eau, la température corporelle et la mortalité	22
II.2.2. Effet de l'addition de vitamine C sur l'équilibre acido-basique.....	24
II.2.3. Effet de l'addition de vitamine C sur les réponses hématologique et immunitaire.....	24
II.3 Utilisation du chlorure de potassium (KCl) et du bicarbonate de sodium (NaHCO ₃).....	25
II.3.1. Utilisation du chlorure de potassium (KCl).....	25
a) Effet de l'addition de KCl sur les performances de croissance, la consommation d'eau, la température corporelle et la mortalité	25
b) Effet de l'addition de KCl sur l'équilibre acido-basique	26
c) Effet de l'addition de Kcl sur l'immunité	27
II.3.2. Utilisation du (NaHCO ₃).....	27
a) Effet de l'addition de NaHCO ₃ sur les performances de croissance, la consommation d'eau, la température corporelle et la mortalité	27
b) Effet de l'addition de (NaHCO ₃) sur l'équilibre acido-basique	30
II.3.3. Utilisation de mélanges d'électrolytes associée à des pratiques techniques de lutte contre le stress thermique	31
a) Effet sur les performances de croissance, la consommation d'eau, la température corporelle et la mortalité	31
b) Effet sur l'équilibre acido-basique	32
c) Effet sur les composants sanguins et les facteurs immunitaires	33
II.4. Utilisation de l'acide acétique ou « vinaigre »	34

ETUDE EXPERIMENTALE

MATERIELS ET METHODES	37
I. Lieu, durée et période de l'essai	37
II. Animaux et traitements	37
II. Aliments	39
IV. Bâtiment	39
V. Les conditions d'ambiance	41
V.1. La température	41
V.2. L'hygrométrie et éclairage	42
VI. Programme de prophylaxie	42
VII. Les Mesures	43
VII.1. Paramètres d'élevage	43
VII.2. Les paramètres zootechniques	43
VII.2.1. Poids vif moyen	43
VII.2.2. Le gain de poids	43
VII.2.3. L'ingéré alimentaire	43
VII.2.3. Indice de conversion	44
VII.2.4. Consommation d'eau	44
VII.2.6. Taux de mortalité	45
VII.2.7. Rendement de carcasse	45
VII.3. Les paramètres physiologiques	45
VII.3.1. La température rectale	45
VII.3.2. Paramètres hématologiques et biochimiques	45
VII.3.2. 1. Prélèvement de sang	45
VII.3.2. 2. Mesures effectuées	46
a) Mesure du taux d'hématocrite	46
b) Dosage de l'hémoglobine	46
c) Numération des globules blancs	46
d) Formule leucocytaire et rapport hétérophiles/lymphocytes (H/L)	47
e) Electrolytes	48

IIIX. Analyse statistique:	48
---	-----------

RESULTATS

I. Stress thermique chronique	49
--	-----------

I.1. Paramètres d'ambiance	49
----------------------------------	-----------

I.2 Performances zootechniques	50
--------------------------------------	-----------

I.2.1 Effet de l'addition des électrolytes, vinaigre et vitamine C dans l'eau de boisson associée avec le retrait de l'aliment sur le Poids vif et le gain du poids	50
---	-----------

I.2.2. Effet de l'addition des électrolytes, vinaigre et vitamine C dans l'eau de boisson associée avec le retrait de l'aliment sur l'ingéré alimentaire et l'indice de conversion.....	54
---	-----------

I.2.3. Effet de l'addition des électrolytes, vinaigre et vitamine C dans l'eau de boisson associée avec le retrait de l'aliment sur la consommation d'eau et ratio eau/aliment	55
--	-----------

I.2.4. Effet de l'addition des électrolytes, vinaigre et vitamine C dans l'eau de boisson associée avec le retrait de l'aliment sur le rendement de carcasse.....	58
---	-----------

I.2.5. Effet de l'addition des électrolytes, vinaigre et vitamine C dans l'eau de boisson associée avec le retrait de l'aliment sur la température interne des poulets.....	61
---	-----------

I.2.6. Effet de l'addition des électrolytes, vinaigre et vitamine C dans l'eau de boisson associée avec le retrait de l'aliment sur le Taux mortalité.....	63
--	-----------

I.3. Les paramètres sanguins.....	65
-----------------------------------	-----------

I.3.1. Effet de l'addition des électrolytes, vinaigre et vitamine C dans l'eau de boisson associée avec le retrait de l'aliment sur le taux d'hématocrite et d'hémoglobine.....	65
---	-----------

I.3.2. Effet de l'addition des électrolytes, vinaigre et vitamine C dans l'eau de boisson associée avec le retrait de l'aliment sur l'équilibre leucocytaire et apport H/L (hétérophiles / lymphocytes).....	67
--	-----------

I.3.3. Effet de l'addition des électrolytes, vinaigre et vitamine C dans l'eau de boisson associée avec le retrait de l'aliment sur l'équilibre électrolytique.....	71
---	-----------

II. Stress thermique aigu	73
--	-----------

II.1. Paramètres d'ambiance	73
-----------------------------------	-----------

II.2 Performances zootechniques	73
---------------------------------------	-----------

II.2.1. Effet de l'addition des électrolytes, vinaigre et vitamine C dans l'eau de boisson associée avec le retrait de l'aliment sur la Consommation d'aliment.....	73
---	-----------

II.2.2. Effet de l'addition des électrolytes, vinaigre et vitamine C dans l'eau de boisson associée avec le retrait de l'aliment sur la Consommation d'eau.....	76
---	-----------

II.2.2. Effet de l'addition des électrolytes, vinaigre et vitamine C dans l'eau de boisson associée avec le retrait de l'aliment sur la Température rectale	77
---	-----------

II.2.3. Effet de l'addition des électrolytes, vinaigre et vitamine C dans l'eau de boisson associée avec le retrait de l'aliment sur le Taux de Mortalité.....	77
DISCUSSION.....	78
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS.....	86

LISTE DES FIGURES

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE		
Figure 1 :	<i>La thermorégulation chez les oiseaux</i>	4
Figure 2 :	<i>Principaux modes de transfert de chaleur entre l'animal et l'ambiance</i>	6
Figure 3 :	<i>Schéma général de régulation de la température corporelle et de la répartition des échanges énergétiques en fonction de la température ambiante.</i>	8
ETUDE EXPERIMENTALE		
MATERIELS ET METHODES :		
Figure 4 :	<i>Schéma du bâtiment d'élevage.</i>	40
Figure 5 :	<i>Vue extérieure du bâtiment d'élevage.</i>	40
Figure 6 :	<i>Schéma du protocole expérimental</i>	42
Figure 7 :	<i>La cellule de Malassez</i>	47
RESULTATS :		
Figure 8 :	<i>Evolution quotidienne des températures (a) (ambiante et aire de vie) et de l'humidité relative (b) pendant la période expérimentale (29-49 jours ; stress thermique chronique)</i>	50
Figure 9 :	<i>Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur l'évolution hebdomadaire du poids vif moyen (g) chez le poulet soumis au stress thermique chronique</i>	52
Figure 10 :	<i>Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur l'évolution hebdomadaire et en périodes cumulées, du gain de poids vif moyen (g) sexes confondus (a) et selon le sexe (b) chez le poulet soumis au stress thermique chronique</i>	53
Figure 11 :	<i>Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur l'évolution hebdomadaire et en périodes cumulées, de l'indice de conversion chez le poulet soumis au stress thermique chronique</i>	55
Figure 12 :	<i>Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur l'évolution hebdomadaire et en périodes cumulées de la consommation d'eau chez le poulet soumis au stress thermique chronique .</i>	57
Figure 13 :	<i>Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur l'évolution hebdomadaire et en périodes cumulées du ratio consommation d'eau /consommation d'aliment (ml/g) chez le poulet soumis au stress thermique chronique</i>	58
Figure 14	<i>Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur le rendement de carcasse du poulet soumis au stress thermique chronique</i>	60
Figure 15	<i>Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur les proportions du gras abdominal et du foie du poulet soumis au stress thermique chronique</i>	61
Figure 16	<i>Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur l'évolution de la température rectale selon l'état nutritionnel chez le poulet soumis au stress thermique chronique</i>	63

Figure 17	<i>Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur la mortalité chez le poulet soumis au stress thermique chronique.</i>	64
Figure 18	<i>Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur le taux d'Hématocrite (%) (a) et le taux d'Hémoglobine (g/dl) (b) selon le sexe et l'âge du poulet soumis au stress thermique chronique.</i>	66
Figure 19	<i>Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur le taux des globules blancs selon le sexe et l'âge du poulet soumis au stress thermique chronique.</i>	69
Figure 20	<i>Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur les taux des monocytes, des lymphocytes et des hétérophiles selon le sexe et l'âge du poulet soumis au stress thermique chronique.</i>	70
Figure 21	<i>Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur le rapport H/L selon le sexe et l'âge du poulet soumis au stress thermique chronique</i>	70
Figure 22	<i>Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur le taux du K⁺ (a) et du Na⁺ (b) plasmatiques selon le sexe et l'âge du poulet soumis au stress thermique chronique.</i>	72
Figure 23	<i>Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur la consommation d'aliment du poulet soumis au stress aigu.</i>	74
Figure 24	<i>Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur la consommation d'eau du poulet soumis au stress aigu.</i>	75
Figure 25	<i>Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur le ratio consommation en eau/consommation d'aliment du poulet soumis au stress aigu.</i>	75
Figure 26	<i>Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur la température rectale des mâles nourris enregistré lors de la journée du stress aigu.</i>	76
Figure 27	<i>Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur le taux de mortalité enregistré lors de la journée du stress aigu.</i>	77

LISTE DES TABLEAUX

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE :		
Tableau 1 :	<i>Exemples de gènes majeurs impliqués dans la résistance à la chaleur</i>	15
Tableau 2	<i>Effet de la restriction alimentaire sur les performances de croissance du poulet exposé à des températures élevées (Synthèse des données bibliographique).</i>	20
Tableau 3 :	<i>Effet de l'addition de la vitamine C sur les performances de croissance du poulet exposé à des températures élevées (Synthèse des données bibliographiques).</i>	21
Tableau 4 :	<i>Effet de l'addition de la vitamine C sur la consommation d'eau, la température corporelle et la mortalité du poulet exposé à des températures élevées. (Synthèse des données bibliographiques)</i>	23
Tableau 5 :	<i>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)</i>	24
Tableau 6 :	<i>Effet de l'addition de KCl sur les performances de croissance du poulet exposé à des températures élevées (Synthèse des données bibliographiques).</i>	24
Tableau 7 :	<i>Effet de l'addition de KCl sur la consommation d'eau, la température corporelle et la mortalité du poulet exposé à des températures élevées (Synthèse des données bibliographiques).</i>	26
Tableau 8 :	<i>Effet de l'addition de NaHCO₃ sur les performances de croissance du poulet exposé à des températures élevées (Synthèse des données bibliographiques).</i>	28
Tableau 9 :	<i>Effet de l'addition du NaHCO₃ sur la consommation d'eau, la température corporelle et la mortalité du poulet exposé à des températures élevées (Synthèse des données bibliographiques).</i>	29
Tableau 10 :	<i>Effet de l'addition de l'association de sels, vitamines, acide ascorbique + techniques sur les performances de croissance du poulet exposé à des températures élevées (Synthèse des données bibliographiques).</i>	30
Tableau 11	<i>Effet de l'addition de l'association de sels, de vitamines, d'acide ascorbique + techniques sur la consommation d'eau, la température corporelle et la mortalité du poulet exposé à des températures ambiantes élevées (Synthèse des données bibliographiques).</i>	32
Tableau 12	<i>Effet de l'addition de l'association de sels + techniques sur les électrolytes sanguins du poulet exposé à des températures élevées (Synthèse des données bibliographiques).</i>	33
Tableau 13 :	<i>Effet de l'addition de l'association de sels sur les composants sanguins et l'immunité du poulet exposé à des températures élevées (Synthèse des données bibliographiques).</i>	34
Tableau 14 :	<i>Effet de la supplémentation de l'aliment en acide acétique sur les performances de ponte et la qualité des œufs des poules pondeuses soumises à un stress thermique chronique</i>	35

Tableau 15 :	<i>Effet de la supplémentation de l'eau de boisson en acide acétique sur le poids vif, la consommation d'eau et le ratio H/L du poulet de chair soumis à un stress thermique chronique à 6 semaines d'âge</i>	36
---------------------	---	-----------

ETUDE EXPERIMENTALE

MATERIELS ET METHODES :

Tableau 16 :	<i>Poids vif moyen initial global et par sexe des poulets des différents traitements à J29</i>	38
Tableau 17 :	<i>Composition et caractéristiques des aliments utilisés au cours de l'essai.</i>	39
Tableau 18 :	<i>Températures (ambiante et aire de vie) et humidité relative moyenne enregistrées pendant la période pré-expérimentale (J0-J28).</i>	41
Tableau 19 :	<i>: Programme de prophylaxie appliqué durant toute la phase d'élevage</i>	42

RESULTATS :

Tableau 20 :	<i>Température ambiante, température de l'aire de vie et humidité relative enregistrées durant le stress thermique chronique</i>	49
Tableau 21 :	<i>Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur le poids vif moyen (g) et le gain de poids moyen (g) chez le poulet soumis au stress thermique chronique</i>	51
Tableau 22 :	<i>Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur l'évolution hebdomadaire et en périodes cumulées, du l'ingéré alimentaire (g) et de l'indice de conversion (g/g) chez le poulet soumis au stress thermique chronique</i>	54
Tableau 23 :	<i>Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur la consommation d'eau (ml/s/j), et le ratio eau/aliment (ml/g) chez le poulet soumis au stress thermique chronique</i>	56
Tableau 24 :	<i>Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur les caractéristiques de la carcasse du poulet soumis au stress thermique chronique</i>	59
Tableau 25 :	<i>Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur l'évolution hebdomadaire de la température rectale selon l'état nutritionnel et le sexe du poulet soumis au stress thermique chronique</i>	62
Tableau 26 :	<i>Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur la mortalité chez le poulet soumis au stress thermique chronique</i>	63
Tableau 27 :	<i>Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur le taux d'hématocrite (%) et d'hémoglobine (g/dl) chez le poulet soumis au stress thermique chronique</i>	65
Tableau 28 :	<i>Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur les cellules immunitaires et le rapport H/L selon le sexe et l'âge du poulet soumis au stress thermique chronique</i>	68
Tableau 29 :	<i>Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur le taux du K⁺ et du Na⁺ plasmatiques selon le sexe et l'âge du le poulet soumis au stress thermique chronique</i>	71
Tableau 30 :	<i>Température (ambiante et aire de vie) et humidité relative enregistrées lors de la journée du stress thermique aigu.</i>	73
Tableau 31 :	<i>Evolution de la température (ambiante et aire de vie) et de l'humidité relative au cours de la journée du stress thermique aigu.</i>	73

Tableau 32 :	<i>Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur la consommation d'aliment, la consommation d'eau et le ratio consommation en eau/consommation d'aliment du poulet soumis au stress aigu</i>	74
Tableau 33 :	<i>Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur la température rectale des mâles nourris soumis au stress aigu</i>	76
Tableau 34 :	<i>Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur le taux de mortalité enregistré lors de la journée du stress aigu</i>	77

ANNEXES

ANNEXE 1	<i>Fiche technique du kit pour dosage d'hémoglobine</i>
-----------------	---

LISTE DES ABREVIATIONS

AA : Acide ascorbique

ASA : Acide acétylsalicylique.

BE : Bilan électrolytique

°C : degré Celsius

CR : Lot de poulets supplémentés en vitamine C et soumis à une restriction alimentaire

CE/CA : Consommation d'eau /Consommation d'aliment

E : Electrolytes

EM : Energie métabolisable

EMAn : Energie métabolisable corrigée pour un bilan azoté nul

ER : lot de poulets supplémentés en électrolytes et soumis à une restriction alimentaire

F : Femelle

GB : Globules blanc

Gp : Gain de poids

H/L : Hétérophiles/Lymphocytes

Hct : Hématocrite

Hb : Hémoglobine

h : Heure

Het : Hétérophiles

HR : Humidité relative

IC : Indice de conversion

IA : Ingéré alimentaire

J : jour

KCl : Chlorure de potassium

Lym : Lymphocytes

M : Mâle

mEq : Milliéquivalents.

MGG : May-Grünwald Giemsa

MRC : Maladies respiratoires chronique

NS : Non significatif

NaHCO₃ : Bicarbonate de sodium

ONAB : Office National Des Aliments Du Bétail

PAC : Prête a cuire

PC : Poulet de chair

pH : Potentiel en Hydrogène

ppm : Partie par million (par exemple : 1 gramme par tonne)

RA : Restriction alimentaire

Se : Sélénium

SEM : erreurs standards moyennes

Sem : Semaine

SM : Sexes mélangés

ST : Stress thermique

T : lot de poulets Témoins

Ta : Température ambiante

T_{av} : Température aire de vie

TR : Température rectale

VR : Lot de poulets supplémentés en vinaigre et soumis à une restriction alimentaire

Introduction Générale

En Algérie, l'aviculture a enregistré un développement remarquable au cours de ces dernières années. Son essor est toutefois freiné par une contrainte majeure, à savoir les températures ambiantes (T_a) d'élevages élevées. En effet, l'Algérie est considérée comme un pays chaud avec, d'une part, une période de chaleur de plus en plus allongée (de mai à septembre voire octobre selon les régions ; T_a entre 28 et 35°C) correspondant à un stress thermique chronique ; et d'autre part, des pics de chaleurs fréquents, avoisinant les 40-45°C, provoquant un stress thermique aigu (Temim, 2000). Ces conditions ambiantes entraînent des pertes économiques considérables en termes de baisse de performances zootechniques et d'accroissement des taux de mortalité des poulets.

Pour pallier aux effets néfastes de la chaleur ambiante, différentes mesures peuvent être envisagées selon le type de stress thermique considéré (chronique ou aigu) :

Ainsi, **lors de stress thermique aigu**, les solutions sont essentiellement techniques, et concernent la gestion adaptée des principaux paramètres à risque, à savoir la température, l'hygrométrie, le débit de renouvellement et la vitesse de l'air (Amand, 2004). Ces dernières peuvent éventuellement être associées à d'autres pratiques, tels que l'acclimatation précoce, la restriction alimentaire, la réduction de la densité des animaux et la gestion de l'abreuvement. Toutes ces techniques visent à réduire la mortalité des poulets face au coup de chaleur.

Lors d'exposition chronique à la chaleur, 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. (Temim, 2000)

Dans les conditions d'élevage local, la restriction alimentaire, qui est une technique d'application simple, est déjà utilisée par certains éleveurs. Son principe consiste à limiter l'ingéré alimentaire durant les heures les plus chaudes de la journée afin d'abaisser la thermogénèse alimentaire (Soutyrine *et al.*, 1998).

Par ailleurs, parmi les additifs potentiellement utilisés, la vitamine C et le vinaigre sont les plus fréquemment employés en périodes estivales. Si le rôle thermogénique de la vitamine C est rapporté par la littérature (Ait Boulahsen, 1996), l'effet du vinaigre sur la physiologie du poulet soumis à la chaleur reste en revanche inconnu. Enfin, l'utilisation des électrolytes, en vue de corriger le déséquilibre acido-basique induit par le stress thermique chez le poulet, n'est pas connue par nos éleveurs.

L'efficacité des techniques citées (supplémentation en additifs et restriction alimentaire) reste variable selon les conditions ambiantes et l'impact de leur association n'est pas connu.

Dans ce contexte, l'objectif de notre essai est d'évaluer l'intérêt d'associer la mise à jeun diurne (8 heures par jour) à l'ajout séparé d'additifs dans l'eau de boisson (vitamine C, électrolytes et acide acétique) pour améliorer les performances zootechniques des poulets soumis à un stress thermique chronique et aigu. De plus, les réponses physiologiques des poulets, en termes de numération cellulaire et équilibre électrolytique du sang, ratio hétérophiles/lymphocytes (immunité) et température interne, ont été explorées pour élucider les effets des traitements appliqués.

La première partie de ce mémoire est consacrée à une étude bibliographique, articulée sur deux chapitres portant successivement sur : - les conséquences de l'exposition à la chaleur sur la physiologie du poulet et sur ses capacités adaptatives et - les solutions adoptées pour atténuer l'effet défavorable de la température ambiante élevée. Pour ces dernières, seules les techniques utilisées dans notre essai seront décrites.

Notre étude expérimentale est présentée dans la deuxième partie du mémoire. L'objectif et la méthodologie de travail sont détaillés, en premier, puis les principaux résultats obtenus sont présentés et discutés. Dans la conclusion générale, une mise au point des idées acquises et une présentation des perspectives envisageables sont élaborées.

Etude Bibliographique

L'exposition à une température ambiante élevée entraîne, chez le poulet, un désordre tant sur le plan comportemental que métabolique et physiologique. Dans un premier chapitre, après une brève définition du stress, nous tenterons d'exposer les conséquences du stress thermique sur la croissance, le métabolisme et la physiologie du poulet ainsi que les capacités adaptatives de ce dernier. Différentes solutions de lutte pour atténuer l'effet du stress thermique seront évoquées dans un deuxième chapitre, à travers lequel nous mettrons un accent particulier sur certaines d'entre elles, à savoir la pratique de la restriction alimentaire, l'addition de la vitamine C, le vinaigre et les électrolytes, objet de notre étude.

- *Chapitre A* -

Température ambiante élevée : capacités adaptatives et conséquences sur la croissance et la physiologie du poulet

I. Température ambiante élevée ou « stress thermique »

Le stress désigne un ensemble de réactions comportementales et physiologiques pour faire face à une menace d'origine environnementale, appelée facteur de stress. La réponse au stress est caractérisée par plusieurs modifications complexes du système endocrinien en réponse aux besoins immédiats de l'animal (Merlot, 2004).

La notion de « chaleur » ou l'exposition à une température ambiante élevée recouvre deux aspects différents de stress thermique, selon leur durée et leur intensité, pour lesquels les réponses des animaux sont différentes (De Basilio et Picard, 2002 ; Amand *et al.*, 2004).

I.1. Le stress thermique chronique

Le stress thermique chronique concerne une exposition prolongée à des températures ambiantes élevées cycliques, en général supérieures à 30°C, et s'étalant sur une longue période de plusieurs mois selon les régions (De Basilio et Picard, 2002 ; N'Dri, 2006). Elle provoque des changements relativement faibles, sur une assez longue période, jusqu'à atteindre un nouvel équilibre homéostatique qui permet à l'animal de s'adapter à son nouvel environnement. Dans cette situation, la mortalité n'est que légèrement augmentée alors que les performances de production sont très affectées (Temim, 2000).

I.2. Le stress thermique aigu

Le stress thermique aigu ou coup de chaleur consiste en une augmentation brutale de la température ambiante dépassant 35°C pendant un temps relativement bref de quelques heures à quelques jours (Ait Boulahsen, 1996 ; Temim, 2000).

Le stress thermique aigu implique des changements immédiats et radicaux qui convergent vers un seul objectif : la survie de l'animal (Temim, 2000). Sa principale conséquence est une augmentation de la mortalité, souvent par étouffement jusqu'à 60%, et la productivité est totalement reléguée au second plan (De Basilio *et al.*, 2001).

II. La thermorégulation chez la volaille

II.1. L'homéothermie

Meijerhof *et al.* (2006) rapportent que durant l'incubation l'embryon est poïkilotherme ce qui signifie que sa température corporelle dépend de son environnement. Cependant, le changement de l'état poïkilothermique à l'état homeothermique débute le 19ème jour de l'incubation et se termine à 4-5 jours jusqu'à une semaine d'âge des poussins, phase correspondant à l'augmentation des hormones thyroïdiennes (De Basilio et Picard, 2002).

Par conséquent, les volailles sont des homéothermes capables de maintenir leur température corporelle quasi constante (autour de 41°C pour le poulet) pour un fonctionnement normal de leurs organes vitaux (Valancony, 1997). Le mécanisme qui permet à un organisme de conserver une température interne constante est la thermorégulation. Elle comprend deux phénomènes qui sont la thermolyse (perte de chaleur) et la thermogénèse (production de chaleur métabolique), qui doivent être maintenus en équilibre (Figure 1). Or au chaud, cet équilibre est rompu et nécessite d'être rétabli par la diminution de la thermogénèse et l'augmentation de la thermolyse.

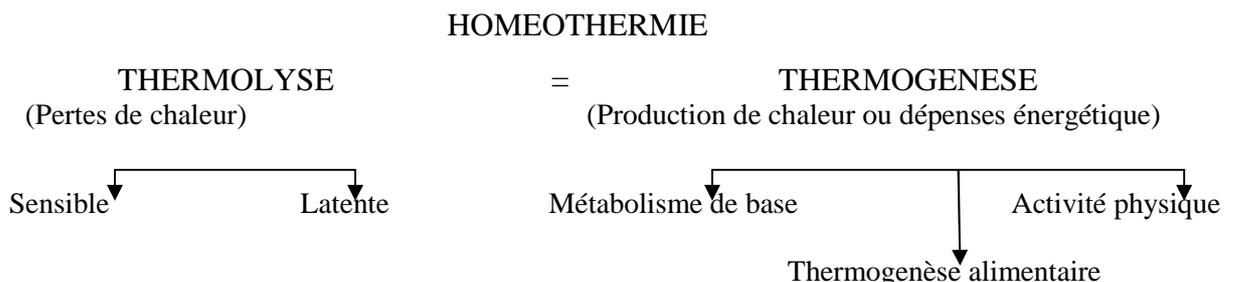


Figure 1. La thermorégulation chez les oiseaux (AinBaziz, 1990).

II.1.1. Diminution de la thermogénèse

Pour augmenter l'ingéré énergétique et donc les performances de croissance en environnement chaud, la production de chaleur ou dépense énergétique doit être minimisée. Ceci passe par la diminution des composantes de la dépense énergétique à savoir le métabolisme de base, l'activité physique et la thermogénèse alimentaire.

Le métabolisme de base peut être réduit par la sélection génétique. Les poulets Leghorn sont plus tolérants à la chaleur que les autres souches commerciales et ceci pourrait s'expliquer par la masse corporelle plus faible et un important développement des appendices, des crêtes et des barbillons (Herremans, 1988).

Aussi, la fréquence du comportement de prostration suggère une diminution de l'activité physique du poulet exposé au chaud. Certains auteurs rapportent que l'activité physique induite par l'accroissement de la fréquence respiratoire se traduisant par une activité accrue des muscles associés à la respiration conduit à élever la production de chaleur, et que celle-ci est compensée par la diminution de la demande des autres tissus (Hillman *et al.*, 1985).

La digestion et l'utilisation métabolique de l'aliment ont un effet thermogénique. Toutefois, à la thermoneutralité, les nutriments ne concourent pas de façon égale à la production d'extra-chaleur, les protéines contribuent plus à la thermogénèse que les glucides et les lipides. Hofman (2000) suggère qu'un excès de protéines pouvait avoir un effet négatif sur le bilan énergétique du poulet en climat chaud, en induisant une production de chaleur métabolique excessive due à la dégradation des acides aminés.

II.1.2. Augmentation de la thermolyse

Au chaud, la diminution de la température corporelle du poulet passe par l'augmentation des pertes de chaleur sensible par conduction, convection et rayonnement et par les pertes de chaleur latente mettant en fonction l'évaporation de l'eau à travers les voies respiratoire et cutanée.

Les pertes de chaleur sensible se font principalement par échange direct avec le milieu environnant au niveau de la peau (Amand *et al.*, 2004). Ces transferts caloriques vont nécessairement s'établir avec plus ou moins d'importance entre le corps des poulets et l'ambiance (Guibert, 2005).

➤ *par convection* : les pertes se font par les mouvements de l'air, à travers le duvet ou les plumes lorsque les animaux seront plus âgés. La convection augmente avec la vitesse de l'air. Les volailles ne transpirent pas mais une sensation de fraîcheur équivalente peut être créée en

humectant légèrement les plumes de l'animal et en entretenant des vitesses d'air autour des animaux.

➤ *par conduction* : les pertes de chaleur concernées s'effectuent par contact de certaines parties du corps, les pattes et la poitrine, avec la litière ou le sol ; la conduction diminue quand la densité animale augmente du fait du contact entre animaux. Elles deviennent importantes lorsque les animaux boivent de l'eau fraîche.

➤ *par rayonnement* : Le rayonnement est une perte de chaleur de l'animal vers les parois ou les litières plus froides.

➤ *par l'excrétion fécale* (Figure 2).

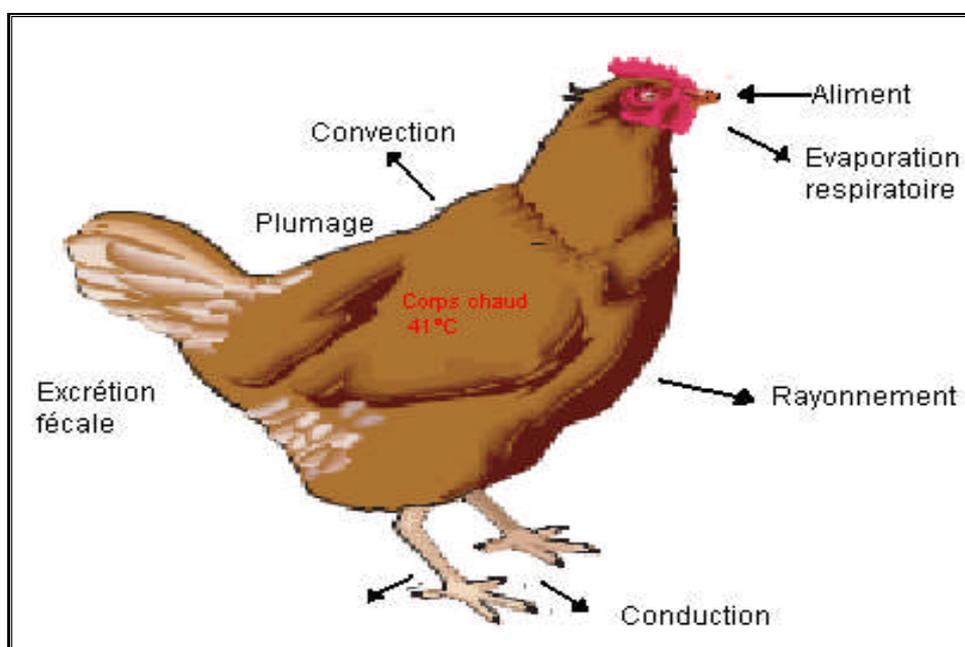


Figure 2 : Principaux modes de transfert de chaleur entre l'animal et l'ambiance (Amand *et al.*, 2004).

Toutefois, à de fortes températures ambiantes, ces modes d'évacuation deviennent insuffisants. En effet, le poulet est recouvert de plumes (isolant thermique réduisant la perte de chaleur) et ne possède pas de glandes sudoripares ce qui limite la perte par évaporation « sudation » (Valancony, 1997). Les pertes de chaleur latente, par évaporation d'eau au niveau pulmonaire, se substituent donc progressivement aux pertes de chaleur sensible. L'appareil respiratoire représente la principale voie d'élimination de la vapeur d'eau (Bégos, 2004). Guibert (2005) estime, qu'en zone de neutralité thermique, les mécanismes de l'élimination de la chaleur se font dans les

proportions suivantes : 75 % par radiation, conduction et convection, 20 % par vaporisation de l'eau à travers des voies respiratoires ou de la peau, et 5 % par les excréta.

Les volailles réagissent également en modifiant leur comportement ainsi que les réactions physiologiques : augmentation du rythme cardiaque, dilatation des vaisseaux sanguins périphériques au niveau de la peau des zones d'échanges privilégiées car dépourvue de plumes isolantes (barbillons, crête et pattes), augmentation de la consommation d'eau, recherche de zone froide et ventilées et écartement des ailes pour augmenter la surface d'échange avec des zones moins emplumées (Allagui *et al.*, 2004).

II.2. La zone de neutralité thermique (zone de thermorégulation)

La zone de thermorégulation encore appelée zone de neutralité thermique est une zone de température d'élevage dans laquelle la production de chaleur est minimale et la température corporelle est maintenue constante (N'Dri, 2006 ; Ahmad, 2005). Selon Amand *et al.* (2004), la zone de neutralité thermique de l'ambiance dans laquelle vit l'animal est définie, pour un âge donné, par les températures critiques inférieures et supérieures, les transferts qui s'établissent dans cette zone correspondent à des dépenses énergétiques faibles, non influencées par l'environnement et égales à la production de chaleur dégagée lors de la transformation de l'aliment en muscle et graisse et lors de l'activité des animaux. Leur confort thermique est optimal.

Ahmad (2005) rapporte que la production de chaleur dans cette zone est indépendante de la température ambiante, elle dépend du poids vif et de la consommation d'aliment, elle est limitée par deux points critiques thermiques, minimal et maximal (N'Dri, 2006 ; Ahmad, 2005). Les limites inférieure (a) et supérieure (g) (Figure 3) dépendent fondamentalement des limites physiologiques des échanges thermiques et de l'efficacité des pertes de chaleur par évaporation (N'Dri, 2006).

En dessous de la température critique minimale (a), les oiseaux deviennent plus actifs et augmentent leur consommation alimentaire et leur production thermique basale. Au-dessus de la température critique maximale (g), on observerait également un accroissement de la production calorique mais le processus ici est différent. Cette élévation de la température résulte d'une accélération généralisée des réactions chimiques sous l'effet de fortes températures ambiantes. L'augmentation de l'activité respiratoire et cardiovasculaire accroît également le travail musculaire et donc aussi la production de chaleur au cours de l'hyperthermie.

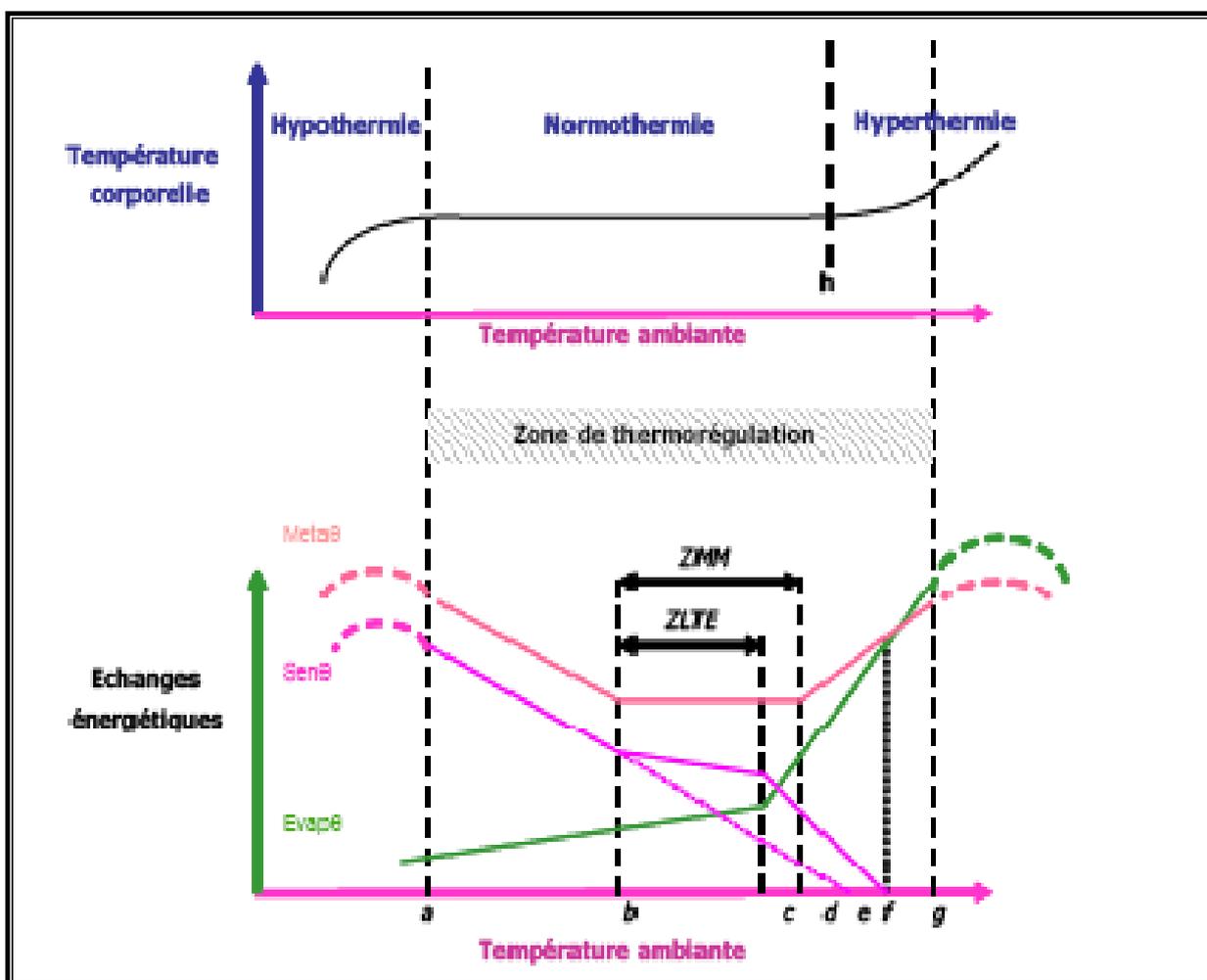


Figure 3 : Schéma général de régulation de la température corporelle et de la répartition des échanges énergétiques en fonction de la température ambiante

(N'Dri, 2006).

a : point critique thermique minimal ; **b** : point critique de température ; **c** : température à laquelle les pertes de chaleur intenses par évaporation commencent ; **d** : température critique supérieure ; **e** : température ambiante égale à la température corporelle normale ; **f** : pertes de chaleur nulles car la production de chaleur métabolique est égale à la perte de chaleur par évaporation ; **g** : point critique thermique maximal ; **h** : point d'hyperthermie irrémédiable ; **ZMM** : zone de métabolisme minimum ; **ZLTE** : zone d'effort de thermorégulation minimale ; **Meta θ** : production de chaleur métabolique ; **Sen θ** : perte de chaleur sensible ; **Evap θ** : perte de chaleur par évaporation.

III. Conséquences du stress thermique sur l'ingéré alimentaire, la croissance et la consommation hydrique du poulet

La première conséquence de la chaleur est une réduction de l'ingéré alimentaire. Une synthèse de nombreux résultats de la littérature réalisée par AinBaziz (1996) montre que la réduction de l'ingéré alimentaire du poulet exposé au chaud s'accroît à partir de 30°C. L'élévation de la température ambiante dans l'intervalle 27-30°C entraîne en moyenne une diminution de l'ordre de 1,4% par degré d'augmentation. Au-delà de 30°C, l'écart devient plus important et la chute de la consommation alimentaire atteint 2,2% par degré d'élévation de la température ambiante. La baisse d'ingestion entraîne chez l'animal une diminution de sa production de chaleur interne, lui permettant de mieux maintenir son homéostasie (Yunis et Cahaner, 1999).

La réduction de l'ingéré alimentaire entraîne un ralentissement de la croissance de plus en plus important avec l'élévation de la température ambiante, associé à la détérioration de l'indice de consommation (Yahav *et al.*, 1995 ; Sahin *et al.*, 2003 ; Aksit *et al.*, 2006).

L'altération de la croissance induite par l'exposition du poulet à une température ambiante varie avec l'âge du poulet. Geraert *et al.* (1996) montrent que la réduction de l'ingéré chez les poulets âgés entre 2 et 4 semaines n'est que de 14% alors qu'elle atteint 24% chez les poulets plus âgés (entre 4 et 6 semaines). L'âge n'est pas le seul facteur dont dépend l'effet de la température ambiante, le poids initial des animaux lors du début de l'exposition au chaud peut également influencer sur la croissance. Padilha (1995) observe que plus le poids vif initial, mesuré à 4 semaines d'âge est élevé, plus l'effet de la chaleur est accentué sur le gain de poids final. En plus de ces deux facteurs de variation que sont l'âge et le poids initial, des travaux soulignent que la température ambiante élevée affecte beaucoup plus la croissance des mâles que celle des femelles (Yalçin *et al.*, 2004). Ces effets sont à mettre en relation avec la composition corporelle et le métabolisme de base différents entre les sexes (Cerniglia *et al.*, 1983 ; Howlinder et Rose, 1989).

Lors d'un stress thermique, l'augmentation de la consommation d'eau semble un comportement majeur des poulets pour améliorer les performances (Balnave et Oliva, 1991 ; Fathy, 2006). La consommation quotidienne d'eau est pratiquement multipliée par deux lorsque la température ambiante passe de 21°C à 32°C et même par trois fois lorsqu'elle atteint 37°C. Le rapport eau sur aliment augmente lors du stress thermique pour atteindre une valeur voisine de 8 à 37°C au lieu de 1,8 à 2 entre 18 et 20°C (Chakroun, 2004).

Durant un stress thermique, l'augmentation de la consommation hydrique facilite la perte de chaleur par évaporation (Meckee *et al.*, 1997), cette dernière est corrélée positivement avec la consommation de l'eau (Narongsak, 2004).

En conditions de stress thermique aigu (37°C), des réactions en chaîne se produisent occasionnant une hausse de la mortalité pouvant atteindre 60% (Chakroun, 2004). En revanche, le stress thermique chronique (température ambiante de 29°C à 35°C) se manifeste par la baisse des performances de production et la mortalité augmente légèrement (Ait Boulahsen, 1996 ; Fathy, 2006).

IV. Conséquences du stress thermique sur le bilan énergétique du poulet

IV.1. Utilisation digestive de l'aliment

L'exposition chronique à la chaleur entraînerait des effets néfastes sur l'aptitude du poulet à digérer son aliment, aptitude mesurée par l'énergie métabolisable (Larbier *et al.*, 1993). En revanche, Bonnet *et al.* (1997) trouvent un effet négligeable de la température ambiante sur l'EMAn du poulet.

La digestibilité des protéines et des acides aminés est affectée par l'augmentation de la température (de 21°C à 32°C). Une altération de la digestibilité de différents composants des aliments (protéines, matières grasses et amidon) chez des poulets et de la rétention protéique chez des dindons âgés de 16 semaines exposés à une température élevée est souvent observée (Bonnet *et al.*, 1997 ; Waibel et MacLeod, 1995).

IV.2. Utilisation métabolique de l'aliment

✓ *Dépense énergétique totale* : la dépense énergétique représente 58 à 83% de l'EM ingérée. Elle est cependant réduite de 16% chez les poulets élevés à 32°C entre 4 et 6 semaines d'âge comparée à celle mesurée chez des poulets exposés à 22°C, et cela pour une baisse d'énergie ingérée de 25% (Johnson et Farrell, 1983 ; Padilha, 1995).

✓ *Energie retenue (ER)* : El-Husseiny et Creiger (1980) trouvent une diminution de l'ER de 10% entre les poulets exposés au chaud comparés aux poulets témoins (32 et 22°C), celle-ci peut atteindre 27% selon Geraert *et al.* (1996).

V. Conséquences du stress thermique sur la température corporelle :

Plusieurs auteurs rapportent que la température corporelle des poulets augmente significativement lors d'une exposition à un stress thermique supérieur à 32°C (Beker et Teeter, 1994 ; Yahav et Hurwitz, 1996).

Toutefois, l'évolution de la température corporelle des poulets de chair âgés exposés à une température ambiante élevée en fonction de l'âge augmente les premiers temps d'exposition, pour diminuer par la suite (Zhou et Yamamoto, 1997 ; Cooper et Washburn, 1998).

VI. Conséquences du stress thermique sur les modifications hématologique et immunitaire :

L'exposition à une température ambiante élevée présente dans certains cas des effets néfastes sur le système immunitaire en affectant notamment la production des anticorps (Narongsak, 2004 ; N'Dri, 2006).

Le système hématologique est particulièrement sensible aux changements des températures ambiantes ce qui lui confère la particularité d'être un indicateur important des réponses physiologiques des animaux. Des changements morphologiques et quantitatifs des cellules de sang se traduisent par la variation des valeurs hématocrites, le nombre des leucocytes circulaires, les érythrocytes et l'hémoglobine (Borges, 1997 ; Borges, 2001).

Lors du stress thermique, l'augmentation du nombre des hématocrites s'explique par l'augmentation des globules rouges. La valeur du rapport hétérophiles/lymphocytes chez le poulet à la thermoneutralité est en moyenne de 0,40 ; celui-ci atteint 0,81 chez le poulet exposé à un stress thermique sévère (Aksit *et al.*, 2006). L'altération du rapport hétérophiles/lymphocytes est dû principalement à l'augmentation des hétérophiles et la diminution du nombre des lymphocytes (Maxwell *et al.*, 1991 ; Borges *et al.*, 2001 ; Post *et al.*, 2003 ; Borges, 2007). Aussi, dans ces mêmes conditions la teneur en basophiles s'élève de 57% chez les poulets âgés de 44 jours d'âge et exposés à 39°C pendant 2 heures par rapport aux poulets maintenus à la thermoneutralité (Altan *et al.*, 2000).

VII. Conséquences du stress thermique sur l'équilibre acido-basique

Dans des conditions de stress thermique chronique (température ambiante < 35°C), la respiration rapide fait que la volaille ne développe qu'une légère et fluctuante alcalose. Par contre, si

les animaux sont exposés à un stress thermique aigu, le volume "tidal" augmente suivie d'une élévation de la perte de CO₂, accentuant ainsi le degré de l'alcalose.

L'alcalose respiratoire et les perturbations qu'elle entraîne dans l'homéostasie des différents électrolytes sanguins ont des répercussions directes sur les performances des animaux (Borges *et al.*, 2007). L'équilibre acido-basique sanguin et le statut électrolytique sont à lier plus à la température rectale qu'au temps d'exposition à la chaleur ambiante (Ait Boulahsen *et al.*, 1989).

Lors de l'exposition à de très fortes chaleurs, le poulet augmente la consommation d'eau pour remplacer la perte hydrique due à l'évaporation. La consommation d'eau peut être stimulée davantage par l'ajout de sels minéraux dont le rôle est de corriger la balance électrolytique du sang et réguler la température corporelle et l'homéostasie. Le degré de la perte de chaleur des poulets est corrélé positivement avec la consommation d'eau (Belay et Teeter, 1993 ; Narongsak, 2004).

L'équilibre électrolytique du sang est altéré durant un stress thermique (Teeter *et al.*, 1985). En effet, les concentrations plasmatiques de Na⁺ et du K⁺ sont réduites alors que la teneur en Cl⁻ est augmentée au chaud (Belay et Teeter, 1993 ; Dehim *et al.*, 1995 ; Borges, 1997 ; Borges *et al.*, 1997 ; Narongsak, 2004 ; Borges *et al.*, 2007).

- Chapitre B -

Solutions adoptées pour atténuer l'effet défavorable de la température ambiante élevée sur la croissance du poulet et la physiologie du poulet

Des mesures préventives et de lutte sont envisagées afin de minimiser les pertes économiques produites lors d'un stress thermique chronique ou aigu et améliorer les performances du poulet. Ces mesures peuvent être d'ordre technique, génétique, nutritionnel ou thérapeutique. Dans cette partie, nous évoquerons dans un premier point, différentes solutions ou pratiques d'élevage adoptées pour diminuer les effets négatifs du stress thermique dans les élevages de poulets de chair. Aussi, nous réserverons un deuxième point à la pratique de la restriction alimentaire et de l'addition de la vitamine C, du vinaigre et des électrolytes qui font l'objet de notre étude, ainsi que leurs effets correcteurs spécifiques.

I. Des solutions de différents ordres

I.1. Les solutions d'ordre technique

I.1.1. Améliorer les conditions d'ambiance

L'amélioration des conditions d'ambiance consiste en l'utilisation des équipements (système de refroidissement d'air, pad-cooling, brasseur d'air, turbines...etc.), afin de gérer les paramètres à risque lors d'un stress thermique (température, hygrométrie, renouvellement d'air et vitesse d'air) qui permettent le bien être des animaux. Il est à souligner que l'efficacité de ces systèmes décroît au-delà de 35°C (Valoncony, 1997 ; Amand, 2004).

I.1.2. Réduire la densité

La réduction de la densité d'élevage est l'une des pratiques les plus efficaces qui permet d'atténuer la mortalité en diminuant la production de chaleur par les animaux et par la litière. Elle permet également une meilleure circulation des animaux pour la recherche de zones les plus aérées et favorise les échanges thermiques (Puron *et al.*, 1997 ; De Basilio *et al.*, 2001).

Turkyilmaz (2008) montre que l'augmentation de la densité de 15 à 25 poulets/m² affecte la survie des poulets élevés en période estivale (29°C en moyenne).

I.1.3. Maintenir une litière fraîche

Les volailles se couchent sur le sol pour rechercher la fraîcheur et favoriser les échanges thermiques par conduction. Il est donc judicieux de réduire la quantité de la litière pour les bandes afin de privilégier les pertes de chaleur des poulets par le sol.

Il est également conseillé de maintenir l'humidité de la litière à des taux faibles et d'éviter une fermentation excessive (Valoncony, 1997). Cette dernière augmente le dégagement de l'ammoniac (particulièrement sensible à l'élévation de température), ainsi que la production de dioxyde de carbone par la litière, induisant une élévation de la température corporelle (Amand *et al.*, 2004).

I.1.4. Favoriser la consommation d'eau

Les poulets exposés à des températures ambiantes élevées respirent plus rapidement afin d'éliminer l'excès de chaleur. La perte de chaleur s'effectuant par ce mécanisme est estimée à 80 % (Ghislain, 2000 ; Ghislaine, 2002).

En période de stress thermique, les poulets consomment deux à trois fois plus d'eau que ceux évoluant à la température de neutralité thermique (May et Lott, 1992 ; Belay et Teeter, 1992). Il est donc nécessaire de s'assurer du bon fonctionnement du système d'abreuvement, et du nombre d'abreuvoirs adéquat (Bouzouaia, 2005).

Valoncony (1997) rapporte que la distribution de l'eau fraîche permet de réduire la température corporelle des poulets exposés à des températures élevées. Smith et Teeter (1993) relèvent une forte corrélation entre la température de l'eau d'abreuvement et la température corporelle de l'animal exposé au chaud.

I.2. Les solutions d'ordre alimentaire :

De nombreuses stratégies nutritionnelles ont été proposées dans le but de compenser l'incidence négative de la température (Lin *et al.*, 2006). Celles-ci consistaient à augmenter la densité énergétique de la ration par l'utilisation de matières grasses dont l'extra-chaleur est faible (Howlider et Rose, 1992 ; AinBaziz, 1996), la teneur en protéines et/ou acides aminés (Mendes *et al.*, 1997 ; Temim *et al.*, 2000 ; Dozier *et al.*, 2000 ; Kidd *et al.*, 2003 ; Chen *et al.*, 2005).

Jusqu'à présent, ces stratégies de remaniement de la composition des aliments composés n'ont pas permis d'améliorer de manière significative la productivité des volailles soumises à un stress thermique (AinBaziz, 1996 ; Temim *et al.*, 2000).

I.3. Les solutions d'ordre génétique :

La résistance à la chaleur chez les oiseaux est en partie contrôlée par des facteurs génétiques. En effet, il existe une grande variabilité de résistance à la chaleur entre souches, que ce soit suite à une exposition chronique ou à un coup de chaleur (Arad et Marder, 1982 ; Lu *et al.*, 2007).

Les animaux génétiquement plus résistants à la chaleur (Tableau 1) porteurs du gène du nanisme « dw », ayant une consommation d'aliment réduite d'environ 25%, seraient moins affectés par le stress thermique (Ricard *et al.*, 1972).

Par ailleurs, les gènes qui réduisent le plumage : « Na » cou nu, le gène frisé « F » et « Sc » scaleless confèrent aux poulets une meilleure tolérance aux températures ambiantes élevées (Bordas *et al.*, 1978). Le gène de l'emplument lent « K » laisse plus longtemps une partie du corps de l'animal non couverte par le plumage favorisant ainsi la déperdition calorifique (Dunnington *et al.*, 1987).

Enfin, le gène « Polydipsia » entraîne une augmentation de la consommation d'eau qui permet d'améliorer la résistance à la chaleur (Ayoub, 1989).

Tableau 1 : Exemples de gènes majeurs impliqués dans la résistance à la chaleur (N'Dri, 2006)

Gènes	Mode de transmission	Effets Directs	Effets Indirects
Na Naked Neck (Cou nu)	Dominant incomplet	Emplument réduit (en particulier au cou), modifications des plumes	Augmentation des pertes par conduction et convection
F Frizzle (Frisé)	Dominant incomplet	Plumes recourbées et réduction de l'emplument	Augmentation des pertes par convection
K Slow Feathering (Emplument lent)	Dominant, lié au sexe, allèles multiples	Retard d'emplument	Augmentation des pertes sensibles
H Silky (Soie)	Récessif	Modification des plumes	Augmentation des pertes de chaleur par convection
Sc Scaleless (Tout nu)	Récessif	Suppression des follicules des plumes entraînant une nudité avec une peau lisse	Augmentation des pertes par conduction et convection
dw dwarf (Nanisme)	Récessif, lié au sexe, allèles multiples	Réduction de la taille de 30%	Réduction du besoin d'entretien et du métabolisme basal

I.4. La pratique de l'acclimatation :

La tolérance à la chaleur peut aussi être améliorée par l'acclimatation des animaux à une température élevée pratiquée soit durant l'incubation (Yahav *et al.*, 2004) soit au cours du jeune âge (De Basilio et Picard, 2002). Le principe de l'acclimatation précoce consiste en une exposition à court terme des poussins à un stress thermique durant la première semaine de vie alors que la régulation de la température corporelle et les mécanismes du « feed back » au niveau de l'axe hypothalamo-hypophyso-thyroïdien ne sont pas encore matures.

L'effet de l'acclimatation passe par un changement physiologique ou comportemental à la suite d'une première exposition à une température élevée. Ce changement permet à l'animal de s'adapter et de réduire les effets causés par une température ambiante élevée survenant ultérieurement (Yahav *et al.*, 1997).

I.5. Les solutions d'ordre thérapeutique par l'utilisation d'additifs :

Les substances utilisées pour lutter contre les coups de chaleurs doivent être distribuées et consommées tôt le matin ou tard le soir, afin que les oiseaux puissent affronter la canicule dans de meilleures conditions. Allagui *et al.* (2004) suggèrent que ces substances ne constituent en aucun cas des mesures suffisantes pour lutter contre la chaleur et doivent être associées à d'autres mesures visant à réduire la température corporelle des oiseaux et améliorer leur résistance.

➤ *Les vitamines* : L'exposition à la chaleur entraînent chez le poulet une baisse de la consommation d'aliment, ce qui entraîne notamment une augmentation des besoins en vitamines (Hofman, 2000). L'effet des températures ambiantes élevées sur les besoins en vitamines a été relativement peu étudié, notons toutefois que le besoin en thiamine augmente (2 fois le besoin à 21°C). En revanche, l'exposition des poulets à une température ambiante de 32°C ne semble pas affecter le besoin du poulet en pyridoxine (vit B6), en niacine (vit PP), en acide folique et en choline (Ait Boulahsen, 1996).

Des vitamines telles que la vitamine C, la vitamine E et l'acide folique sont inversement corrélés avec les dommages accrus provoqués par l'oxydation chez la volaille soumise à une contrainte d'un stress. Des études ont montré qu'une supplémentation de vitamine C, E, et A dans l'aliment réduisent les effets secondaires provoqués par un effort extrême, due à un stress (Sahin *et al.*, 2003; Ramnath *et al.*, 2007).

Une amélioration de la masse d'œufs pondus et de la qualité de l'œuf est observée chez la poule pondeuse soumise au chaud suite à l'addition de 65 IU/kg de vit E dans l'aliment (Puthpong siriporn *et al.*, 2001).

➤ *La supplémentation en oligo-éléments tels que* : le zinc (Sahin *et al.*, 2005 ; Hudson *et al.*, 2004) ; manganèse (Sands et Smith, 1999).

➤ *L'acidification de l'aliment* : L'utilisation d'acide phosphorique et d'acide citrique dans l'aliment améliore la survie et la croissance des poulets exposés au chaud (Daskiran *et al.*, 2004).

➤ *Anticoccidien* : certains anticoccidiens induisent une augmentation de la température corporelle chez le poulet exposé à une température ambiante élevée (Beers *et al.*, 1989 ; Wiernusz et teeter, 1995).

➤ *Acide acétylsalicylique* : Stilborn *et al.* (1988) et Hassan *et al.* (2003) montre dans leurs travaux que l'addition d'acide acétylsalicylique permet une amélioration des performances de croissance du poulet, et de reproduction chez la caille, tous deux exposés à des températures élevées cycliques.

➤ *Les correcteurs de l'équilibre acido-basique* : Le sodium, le potassium et le chlore sont essentiels pour réguler la pression osmotique, et maintenir l'équilibre acido-basique et le bilan des fluides dans les tissus corporels. Dans les conditions pratiques, l'équilibre acido-basique des oiseaux est déterminé principalement par le bilan électrolytique (BE) qui correspond aux apports de sodium, potassium et chlore dans le régime, et aux pertes d'anions et de cations selon la relation suivante (Borges *et al.*, 2003a) :

$$(\text{Na}^+ + \text{K}^+ - \text{Cl}^-)_{\text{ingéré}} + \text{H}^+_{\text{endogène}} = (\text{anions} - \text{cations})_{\text{excrété}}$$

Le bilan électrolytique (BE) de l'aliment est évalué comme suit :

$$\text{BE (mEq/kg)} = (\text{Na}/22,99 + \text{K}/39,1 - \text{Cl}/35,45) * 1000 ; (\text{Na, K et Cl sont exprimés en g/kg})$$

Durant l'exposition à une température ambiante élevée, la température corporelle du poulet augmente et la fréquence respiratoire s'accélère dans le but d'accentuer la perte de chaleur corporelle par évaporation. Cependant, le besoin de thermorégulation est prioritaire, l'hyperventilation provoque toujours une alcalose respiratoire et des perturbations dans l'homéostasie des différents électrolytes sanguins (Francesch, 2005 ; Mushtaq *et al.*, 2005 ; Olanrewaju *et al.*, 2006), qui se traduit par une baisse des performances de production des volailles (Ait Boulahsen, 1996 ; Quiniou, 2002).

Pour limiter l'augmentation du pH sanguin au cours du stress thermique et pour accroître la quantité d'eau ingérée qui rétablit la pression osmotique, l'administration dans l'eau de boisson ou dans l'aliment des substances capables de rétablir l'équilibre acido-basique est souvent préconisée (Souilem *et al.*, 2000).

Les principales substances utilisées pour corriger l'alcalose respiratoire et/ou le déséquilibre électrolytique, sont le bicarbonate de sodium (NaHCO_3), le chlorure de potassium (KCl), et à moindre degré le chlorure d'ammonium (NH_4Cl). Ce dernier administré dans l'eau de boisson agit

comme acidifiant du sang et réduit le pH sanguin (Ait Boulahsen, 1996 ; Souilem, 2000 ; Allagui *et al.*, 2004), sans améliorer la résistance à la chaleur et peut même provoquer une acidose. Le chlorure de calcium (CaCl_2) peut être utilisé en association avec le bicarbonate, ainsi que le chlorure de sodium (NaCl) et l'eau carbonée (Souilem *et al.*, 2000 ; Allagui *et al.*, 2004 ; Bouzouaia, 2005).

Plusieurs études démontrent d'ailleurs les bienfaits de l'ajout de ces produits dans l'eau de boisson en période de canicule, elles entraînent une correction partielle de l'alcalose respiratoire, et permet bien souvent d'améliorer les performances de croissance et de réduire la mortalité, du fait d'une augmentation de la consommation en eau, permettant de diminuer la température corporelle (Arad, 1983 ; Valancony, 1997 ; Ait Boulahsen, 1996 ; Amand *et al.*, 2004 ; Fathy, 2006). Toutefois, cette technique est à utiliser avec précaution car l'utilisation de sels peut provoquer des diarrhées et par conséquent la dégradation de la litière (Amand *et al.*, 2004 ; Francesch, 2005).

II. Impact de la restriction alimentaire, de l'utilisation de la vitamine C et des électrolytes sur la croissance, l'équilibre acido-basique et l'immunité du poulet exposé au chaud

II.1. Utilisation de la restriction alimentaire

II.1.1. Principe

La mise à jeun est l'une des méthodes les plus efficaces pour augmenter la thermotolérance des poulets de chair en climat chaud (Lin *et al.*, 2006). Chez le poulet, la consommation d'aliment s'accompagne d'une production de chaleur accrue en climat chaud, survenant dans les trois à cinq heures suivant le repas (Ghislaine, 2002) et entraînant l'augmentation de la température abdominale. Selon Valancony (1997), la production de chaleur est corrélée positivement à la consommation d'aliment, ainsi l'animal est contraint de réduire sa consommation d'aliment et d'énergie pour y remédier. Cette variation de la consommation alimentaire en fonction de la température ambiante, est une réponse d'ajustement de l'ingéré énergétique en fonction des capacités de perte de chaleur de l'animal. Cependant, l'ingestion d'aliment ne cesse pas immédiatement et l'ajustement est un processus adaptatif, lent et donc d'un intérêt limité dans le cas d'un changement brusque et rapide de la température ambiante (stress thermique aigu).

En été, il est important de favoriser la consommation d'aliment durant les périodes de la journée où la chaleur est moins accablante, pour éviter que la production d'extra-chaleur et que le pic de sécrétion de d'acide chlorhydrique ne coïncident pas avec l'heure la plus chaude de la journée. Le retrait de l'aliment doit s'effectuer tôt le matin, 3 à 8 heures avant les heures les plus

chaudes (Ghislaine, 2000 ; Bouzouaia, 2005). Il est judicieux de commencer cette pratique dès l'âge de 28 jours, l'âge où le poulet devient plus sensible aux températures élevées (Amand *et al.*, 2004). La restriction alimentaire peut être associée à l'obscurité permettant ainsi de réduire leur activité (Ghislaine, 2000).

II.1.2. Effet de la restriction alimentaire sur la croissance, la consommation d'eau, la température corporelle et la mortalité :

Une étude menée par Soutyrine *et al.* (1998) chez le poulet de chair soumis à un climat chaud (températures cycliques 25°- 38°C et humidité 50% - 80%, entre 4 et 7 semaines d'âge) montre, comparativement aux poulets témoins, une amélioration significative du poids vif, de l'efficacité alimentaire et de la mortalité chez les poulets soumis à une restriction alimentaire. Cette amélioration est obtenue quelque soit la durée appliquée (10, 8 ou 6 heures), avec toutefois des performances meilleures avec un retrait de 10 heures. Néanmoins, aucune variation de la consommation d'aliment n'est observée entre les poulets restreints et les témoins (Tableau 2).

En revanche, Lozano *et al.* (2006) mettent en évidence une diminution du gain de poids chez des poulets âgés entre 28 jours et 42 jours d'âge, restreints pendant 7h et soumis à une température cyclique (25-32°C). Au vue des résultats de Soutyrine *et al.* (1998) et de Lozano *et al.* (2006), l'effet positif de la restriction alimentaire ne semble être perçu que si la température d'exposition du poulet est supérieure à 32°C (Tableau 2).

La restriction alimentaire pratiquée chez le poulet exposé à une température élevée entraîne une baisse de la température corporelle (Ait Boulahsen *et al.*, 1989 ; Soutyrine *et al.*, 1998 ; Gary *et al.*, 2003), ainsi qu'une augmentation de la consommation d'eau corrélée positivement ($R^2= 0,83$) avec l'efficacité alimentaire (Soutyrine *et al.*, 1998).

L'effet bénéfique de la restriction alimentaire sur la survie des poulets exposés au chaud a été rapporté par plusieurs auteurs, estimant la réduction du taux de mortalité à plus de 65% (Bouvarel *et al.*, 1997 ; Soutyrine *et al.*, 1998).

Tableau 2 : Effet de la restriction alimentaire sur les performances de croissance du poulet exposé à des températures élevées (Synthèse des données bibliographique).

Température ambiante (°C)	Espèce	Age	Restriction alimentaire (RA)	GP*	IA*	IC*	Auteurs et Année
Cyclique 25-38	PC (SM)	2-8 sem	6h	+3	PE	PE	Soutyrine <i>et al.</i> (1998)
			8h	+4	+4	-7	
			10h	+6	PE	- 6,5	
Cyclique 25-35	PC(M)	6-8 sem	RA J6 - J12	+3	- 4	+8,5	Plavnik et Yahav (1998)
Cyclique 24-32	PC (SM)	0-7 sem	RA précoce de 60%	+1,4	ND	ND	Liew et <i>al.</i> (2003)
J36/1h/J (J0-J21) J38/2h/J (j35-50)				+2	ND	ND	
Stress chronique 25-31	PC (SM)	j28-j42	RA 7h/j	-14,8	-6	+11,5	Lozano <i>et al.</i> (2006)

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

GP : gain de poids ; IA : ingéré alimentaire ; IC : Indice de consommation ; PC : poulet de chair ; SM : sexes mélangés ; M : mâles ; PE : pas d'effet ; ND : Non déterminé

II.1.3. Effet de la restriction d'aliment sur l'équilibre acido-basique

Ait Boulahsen *et al.* (1989), montrent que la mise à jeun des poulets réduit les effets néfastes de la chaleur sur l'équilibre acido-basique électrolytique. Ces effets sont d'autant plus atténués que la durée de retrait alimentaire augmente. En revanche, Soutyrine *et al.* (1998) soulignent, qu'au chaud, la restriction alimentaire ne corrige pas l'équilibre acido-basique. Le pH et la concentration sanguine en K⁺ du poulet restreint ne sont pas modifiés d'une manière significative.

II.1.4. Effet de la restriction alimentaire sur les réponses hématologique et immunitaire

La mise à jeun de poulets exposés au chaud atténue l'augmentation des taux d'hématocrite et d'hémoglobine sanguins induite par la chaleur (Soutyrine *et al.*, 1998). Par contre le taux des leucocytes baisse significativement lors de la restriction alimentaire comparé à celui des témoins.

Sur le plan immunitaire, une augmentation du rapport hétérophiles/lymphocytes (H/L) est observée lors de la restriction alimentaire comme une réponse initiale des poulets à un stress thermique, mais cette réponse n'est pas maintenue lorsque la pratique de la restriction alimentaire est prolongée (Per Jensen *et al.*, 2000).

Gross et Siegel (1986), pratiquant une mise à jeun sur des poulets en deux périodes successives de 2 jours séparées d'un intervalle d'une semaine, constatent que la réponse immunitaire et le rapport H/L différent entre la première période et la deuxième période. Ils observent, cependant, que la réponse immunitaire est plus sévère durant la première période de restriction alimentaire. Par ailleurs, la pratique d'une mise à jeun pendant une longue période induit une réponse immunitaire inadéquate révélée par une augmentation appréciable du rapport H/L (Maxwell, 1993).

II.2. Utilisation de la vitamine C

Le nom chimique de la vitamine C est l'acide L-ascorbique, forme lévogyre active de l'acide ascorbique. C'est une vitamine hydrosoluble, chimiquement très proche d'un sucre, facilement synthétisable à partir du glucose dans l'organisme de la volaille (Larbier et Leclercq, 1993). Elle est utilisée comme traitement contre le stress occasionné par des changements de température ambiante ou de conditions d'élevage (Per Jensen *et al.*, 2000 ; Lohakare *et al.*, 2005).

La vitamine C a fait l'objet de plusieurs publications, mais des études spécifiques sur le besoin du poulet en vitamine C, lors d'une exposition à la chaleur, font défaut. Ceci est sans doute lié au fait qu'il n'existe aucune indication qui prouve que cette vitamine soit indispensable pour les volailles élevées dans des conditions tempérées (Ait Boulahsen, 1996 ; Zulkifli *et al.*, 2000). En dehors de la zone de neutralité thermique, le poulet augmente sa sécrétion de corticostéroïdes en réponse à l'effort, la vitamine C agit sur l'effet du stress thermique en contrecarrant la synthèse et la sécrétion des corticostéroïdes (Çinar *et al.*, 2006 ; Ramnath *et al.*, 2007).

Yenisey (2006), se basant sur des mesures des concentrations en acide ascorbique dans le sang, rapporte la température ambiante élevée altère l'absorption de la vitamine C chez le poulet et par conséquent augmente le besoin de l'animal en cette vitamine. Bien que ces études ne permettent pas de dégager une conclusion claire, il semblerait cependant que la synthèse de la vitamine C dans l'organisme des oiseaux est insuffisante pour remplacer la perte occasionnée lors d'un stress thermique (Zulkifli *et al.*, 2000).

Partie bibliographique

Tableau 3 : Effet de l'addition de la vitamine C sur les performances de croissance du poulet exposé à des températures élevées (Synthèse des données bibliographiques).

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	34-37	Eau de boisson 1000 ppm	ND	PE	ND	Puthpong Siriporn et al. (2001)
28-37	PC(SM)	0-77	Eau de boisson				Vathana et al. (2002)
			20 mg/sujet/jour	+9	+5	-8	
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	
30-33(12h) 21-23(12h)	PC(F)	5-6 sem	Aliment+				Roussan et al. (2008)
			mélange ASA/AA/ NaHCO ₃ /KCl	+43	+11	-22	

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

AA : acide ascorbique ; 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 ; ND : Non déterminé

II.2.1. Effet de l'acide ascorbique sur les performances de croissance, la consommation d'eau, la température corporelle et la mortalité

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 3 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 400 ppm semblent donner le meilleur effet.

Tableau 4 : Effet de l'addition de la vitamine C sur la consommation d'eau, la température corporelle et la mortalité du poulet exposé à des températures élevées. (Synthèse des données bibliographiques)

Température ambiante (°C)	Espèce	Age	Traitement Acide ascorbique	CE*	TC*	Mortalité*	Auteurs et Année
34,6-35,5	PC(SM)	0-8 sem	Aliment				Njoku (1986)
			200ppm	ND	ND	+13	
			400ppm	ND	ND	-3	
33-37,5	PC(SM)	0-8 sem	Aliment				Njoku (1986)
			100ppm	ND	ND	-42	
			200ppm	ND	ND	+10	
28-37	PC(SM)	0-7 sem	Eau de boisson				Vathana et <i>al.</i> (2002)
			20 mg/s/j	ND	ND	-37	
			40 mg/s/j	ND	ND	-75	
Stress chronique 27,6-35,6	PC(SM)	1-7 sem	Aliment 3mg/Kg (0,03%)	+6	PE*	-37	Fathy (2006)
Stress aigu (50°C/4h)	PC(SM)	J50	Aliment 3mg/Kg (0,03%)	ND	PE	-25	Fathy (2006)
32	PC(SM)	3-6 sem	Aliment				Mbajiorgu et <i>al.</i> (2007)
			100 ppm	ND	ND	PE	
			200 ppm	ND	ND	PE	
			300 ppm	ND	ND	PE	
30-33(12h) 21-23(12h)	PC(F)	5-6 sem	Aliment+				Roussan et <i>al.</i> (2008)
			mélange ASA/AA/ NaHCO ₃ /KCl	ND	ND	-54	

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

CE : consommation d'eau ; TC : température corporelle ; PP : poule pondeuse ; PC : poulet de chair ; SM : sexes mélangés ; F : femelles ; PE : pas d'effet ; ND : Non déterminé.

A travers le Tableau 4, la majorité des travaux rapportent l'effet améliorateur de l'addition de la vitamine C sur le taux de mortalité des poulets exposés au chaud. La survie est améliorée de 37% en moyenne (Njoku, 1986 ; Vathana et *al.*, 2002 ; Fathy, 2006). Cependant, il est admis que la vitamine C joue un rôle protecteur du métabolisme cérébral et réduit la production des glucocorticoïdes pendant le stress de chaleur (Allagui et *al.*, 2004).

II.2.2. Effet de l'addition de vitamine C sur l'équilibre acido-basique

Peu de travaux rapportent l'effet de l'addition de vitamine C sur l'équilibre acido-basique chez le poulet soumis au chaud. Pardue et *al.* (1985) constatent que l'ajout de 1000 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.

II.2.3. Effet de l'addition de vitamine C sur les réponses hématologique et immunitaire

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 5).

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 5 : 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	C (F)	0-6 sem	Eau de boisson 1200ppm	-10	+3	-11	Zulkifli et <i>al.</i> (2000)
33	PC (SM)	4-7 sem	Aliment 200mg/Kg	ND	+9	ND	Aengwanich et <i>al.</i> (2003)
			400mg/Kg	ND	+8	ND	
			800mg/Kg	ND-	PE	ND	
Non contrôlée	PC (SM)	0-6 sem	Aliment 10 ppm	ND	ND	-27	Lohakare et <i>al.</i> (2005)
			50 ppm	ND	ND	-13	
			100 ppm	ND	ND	-7	
			200 ppm	ND	ND	-24	

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

AA : acide ascorbique ; H : hétérophiles ; L : lymphocytes ; H/L : hétérophiles/ lymphocytes ; C : caille ; PC : poulet de chair ; SM : sexes mélangés ; F : femelles ; PE : pas d'effet, ND : Non déterminé.

Tableau 6 : Effet de l'addition de KCl sur les performances de croissance du poulet exposé à des températures élevées (Synthèse des données bibliographiques).

Température ambiante (°C)	Espèce	Age	Traitement électrolytes	GP*	IA*	IC*	Auteurs et Année
35°C	PC (SM)	4 sem.	Eau de boisson 0,15% KCl	+46	ND	-15	Teeter et Smith (1986)
26,8-36,7 35(2h)	PC (SM)	4-7sem	Eau de boisson 0,2% KCl	PE	PE	PE	Smith et Teeter (1992)
26,6-36,7	PC(M)	4-7sem	Eau de boisson 0,48% KCl 0,5% KCl 0,7% KCl	+14 +29 +40	+4 +12 +19	+15 -10 -5	Smith et Teeter (1994)
Stress aigu 24-37 (37°C /6h)	PC (SM)	J36- J38 (48h)	Eau de boisson 0,5% KCl	+19	ND	+3	Beker et Teeter (1994)
20-31,5	PC (SM)	4-7 sem	Aliment 0,4KCl 0,8KCl 1,2KCl 1,6KCl 2,0KCl	+0,7 +1,4 +4,1 -0,7 -1,4	-1,6 -1,6 -2,2 -2,2 -3,1	-1,8 -2,7 -5,9 -0,9 -1,3	Bonifácio et al (2002)
Cyclique 21-34/7j	PP	4 sem.	Eau de boisson 0,2% KCl 0,4% KCl	ND ND	+13 PE	ND ND	Dai et Bessei (2007)
28,2-37,5	PC (SM)	4-6 sem	Eau de boisson 0,3% KCl 0,6% KCl	PE +8	PE +2	PE -6	Ahmad 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 ; PE : pas d'effet. ; ND : Non déterminé

A l'instar de la vitamine C, les électrolytes peuvent être administrés soit dans l'eau de boisson soit dans l'aliment. Lors d'un stress thermique, les poulets atteints d'une alcalose respiratoire ont des concentrations sanguines de Na⁺ et K⁺ diminuées. L'adjonction d'électrolytes corrige l'équilibre acido-basique et prévient l'alcalose respiratoire (Borges, 2007).

Pendant le stress thermique, l'addition des électrolytes dans l'eau de boisson stimule la consommation d'eau et aide les oiseaux à lutter contre le stress thermique (Narongsak, 2004; Fairchild et Casey, 2006). De ce fait, elle corrige indirectement l'équilibre acido-basique (Teeter *et al.*, 1985) et réduit le taux de mortalité (Fairchild et Casey, 2006).

II.3.1. Utilisation du chlorure de potassium (KCl)

a) Effet de l'addition de KCl sur les performances de croissance, la consommation d'eau, la température corporelle et la mortalité

Les effets induits par l'addition de KCl dans l'eau de boisson du poulet soumis à une température ambiante élevée sur la croissance, la température corporelle et la survie sont variables selon les conditions d'utilisation telles que le type de stress thermique et la dose utilisée (Tableaux 6 et 7).

Certaines études montrent une amélioration significative de la consommation d'aliment du poulet exposé au chaud par rapport aux témoins, induisant un meilleur poids vif (Smith et Teeter, 1994 ; Beker et Teeter, 1994). Les résultats de l'efficacité alimentaire restent toutefois controversés (Teeter et Smith, 1986 ; Smith et Teeter, 1993). D'autres auteurs ne rapportent aucune variation des performances chez les animaux recevant de l'eau de boisson supplémentée (Smith et Teeter, 1992 ; Dai et Bessei, 2007).

Le chlorure de potassium, administré dans l'eau de boisson, permet d'améliorer d'une manière conséquente la survie des poulets, et ce quelque soit le stress thermique (chronique ou aigu) auquel ils sont soumis (Smith et Teeter, 1992 ; Beker et Teeter, 1994 ; Souilem *et al.*, 2000 ; Fathy, 2006 ; Dai et Bessei, 2007). En revanche, la température corporelle ne semble pas être abaissée (Dai et Bessei, 2007 ; Ahmad *et al.*, 2008).

Tableau 7 : Effet de l'addition de KCl sur la consommation d'eau, la température corporelle et la mortalité du poulet exposé à des températures élevées (Synthèse des données bibliographiques).

TA* (°C)	Espèce	Age	Traitement électrolytes	CE*	E/A*	TC*	Mortalité*	Auteurs et Année
28,2-37,5	PC (SM)	4-6 sem.	Eau de boisson 0,3% KCl 0,6% KCl	ND	ND	PE PE	-64 -28	Ahmad et al. (2008)
Stress chronique 27,6-35,6	PC (SM)	1-7 sem	Aliment 1% KCl	+8	+6	PE	-33	Fathy (2006)
24-37	PC (SM)	J36- J38. (48h)	Eau de boisson 0,5 %KCl	+24	ND	ND	-30	Beker et Teeter (1994)
Stress aigu (50°C/4h)	PC (SM)	J50	Aliment 1% KCl	ND	ND	+2,5	-25	Fathy (2006)
21-34	PP	35 sem.	Eau de boisson 0,2% KCl 0,4% KCl	+39 +37	+19 +33	PE PE	ND ND	Dai et Bessei (2007)
Stress aigu 37(6h)	PC (SM)	J36- J38 (48h)	Eau de boisson 0,5% KCl	+23	ND	ND	-30	Beker et Teeter (1994)
26,8-36,7 35(2h)	PC (SM)	4-7 sem	Eau de boisson 0,2% KCl	+3,5	+5	ND	ND	Smith et Teeter (1992)
26,6-36,7	PC (M)	4-7 sem	Eau de boisson 0,48% KCl 0,5% KCl 0,7% KCl	+53 +90 +129	+48 +70 +92	PE PE PE	ND ND ND	Smith et Teeter (1993)

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

TA : température ambiante ; CE : consommation d'eau ; E/A : ratio consommation d'eau/consommation d'aliment ; TC : température corporelle ; PC : poulet de chair ; PP : poule pondeuse ; SM : sexes mélangés ; M : mâle ; PE : pas d'effet. ; ND : Non déterminé

b) Effet de l'addition de KCl sur l'équilibre acido-basique

Souilem et al. (2000) rapportent que l'ajout de KCl dans l'eau de boisson à 1,5%, chez le poulet de chair, âgé entre 4 et 5 semaines, et exposé à une température variant entre 35 et 36,5, entraîne une augmentation de la kaliémie de 17%. L'amélioration de l'équilibre acido-basique, suite à l'addition de KCl dans l'eau de boisson du poulet soumis au chaud est évoquée par plusieurs auteurs, associée en général à une meilleure croissance (Deyhim et Teeter, 1995 ; Bonifácio et al., 2002).

En effet, un apport de potassium permet de contrebalancer les fuites potassiques importantes qui se produisent lors de la lutte contre la chaleur, et qui favorisent l'apparition de troubles cardiaques ou nerveux (Gony et Souilem, 1991).

Par ailleurs, l'administration de KCl à de fortes doses pourrait amener à un excès de chlore qui peut générer une acidose. Il est en fait préférable de raisonner simultanément les apports de sodium et de chlore et de s'assurer que le rapport (sodium/chlore) soit supérieur à 1,5 environ. L'équilibre représenté par le sodium, chlore et le potassium doit être voisin de 200Meq/Kg. Les ions potassium (K^+) ne varient pas au cours du stress thermique, alors que les ions chlore (Cl^-), calcium (Ca^{++}) et sodium (Na^+) diminuent notablement et augmente lors du traitement (Souilem *et al.*, 2000).

c) Effet de l'addition de Kcl sur l'immunité

A notre connaissance, peu de travaux rendent compte de l'impact de l'utilisation du KCl sur l'immunité du poulet soumis à des températures ambiantes élevées. Toutefois, Soutyrine *et al.* (1998) observent une augmentation significative des taux sanguins des hématocrites, de l'hémoglobine, des érythrocytes et du nombre de leucocytes chez les poulets âgés de huit semaines, exposés à un stress thermique chronique et recevant une eau de boisson contenant 0,5% de KCl, comparés aux poulets témoins soumis aux mêmes conditions et non traités. Des résultats similaires sont retrouvés après combinaison de l'adjonction de KCl dans l'eau de boisson et la mise à jeun de 8 heures (Soutyrine *et al.*, 1998).

II.3.2. Utilisation du ($NaHCO_3$)

a) Effet de l'addition de $NaHCO_3$ sur les performances de croissance, la consommation d'eau, la température corporelle et la mortalité

Dans les Tableaux 8 et 9 sont regroupés les résultats relatifs à l'effet de l'addition du $NaHCO_3$, incorporé à différentes doses en majorité dans l'aliment, sur la croissance, la consommation d'eau, la température corporelle et la mortalité du poulet soumis au chaud (Teeter *et al.*, 1985 ; Puron *et al.*, 1994 ; Balnave et Muheereza, 1997 ; Maria *et al.*, 1998 ; Kidd *et al.*, 2003 ; Allagui *et al.*, 2004 ; Roussan *et al.*, 2008). Contrairement aux résultats obtenus avec le KCl, il apparaît que l'effet de l'utilisation du $NaHCO_3$, n'est pas aussi concluant. L'impact est moindre (Maria *et al.*, 1998) sinon inexistant (Puron *et al.*, 1994) sur la croissance du poulet soumis au chaud.

Tableau 8: Effet de l'addition de NaHCO₃ sur les performances de croissance du poulet exposé à des températures élevées (Synthèse des données bibliographiques).

Température ambiante (°C)	Espèce	Age Sem.	Traitement électrolytes	GP*	IA*	IC*	Auteurs et Année
27,1-33,6	PC (SM)	0-7	Aliment 0,5% NaHCO ₃				Puron et al. (1994)
			Mâles	+2	PE	PE	
			Femelles	PE	PE	PE	
27,2 -34,3	PC (SM)	0-7	Aliment 0,6% NaHCO ₃				Puron et al. (1994)
			Mâles	PE	PE	PE	
			Femelles	PE	+2	PE	
30-35	PP	67-77	Eau de boisson 1% NaHCO ₃ +0,04 acide ascorbique +0,05% zinc	ND	+4	ND	Balnave et Muheereza (1997)
23,8-33,9	PC(M)	8-12	Aliment NaHCO ₃				Maria et al. (1998)
			Mâles				
			0,6%	+9	+3	-4	
			1,2%	+2	-3	-3	
			1,8%	+7	PE	-5	
			2,4%	+2	-5	-7	
			Femelles				
			0,6%	-3	-5	-3	
			1,2%	+20	PE	-15	
			1,8%	+9	-3,5	-11	
			2,4%	-1,5	-12	-10	
26-34	PC(SM)	3-6	Aliment NaHCO ₃ 225mEq/Kg	PE	ND	-30	Kidd et al. (2003)
26-31	PC(SM)	5-7	Aliment NaHCO ₃ 225mEq/Kg	-17	ND	+18	Kidd et al. (2003)

*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 ; PE : pas d'effet ; ND : Non déterminé

Par ailleurs, l'addition du bicarbonate de sodium NaHCO₃ dans l'eau de boisson chez des poulets exposés aux températures élevées, induit une augmentation de la consommation d'eau, qui reste sans conséquence significative sur les performances de poulet (Fathy, 2006), mais diminue la température corporelle (Balnave et Gorman, 1993). Toutefois, ce dernier effet disparaît après quelques semaines de traitement (Fathy, 2006).

La plupart des travaux se rejoignent sur l'effet positif de la supplémentation de l'eau ou de l'aliment en NaHCO₃ sur la mortalité des poulets exposés au chaud. Une diminution moyenne de 26% est notée (maxi : 54% ; mini : 3%) pour un stress thermique chronique (Puron *et al.*, 1994 ; Kidd *et al.*, 2003 ; Ahmad *et al.*, 2006 ; Fathy, 2006), et de 50% pour un stress thermique aigu (Fathy, 2006).

Tableau 9 : Effet de l'addition du NaHCO₃ sur la consommation d'eau, la température corporelle et la mortalité du poulet exposé à des températures élevées (Synthèse des données bibliographiques).

Température Ambiante (°C)	Espèce	Age	Traitement électrolytes	CE*	E/A*	TC*	Mortalité*	Auteurs et Année
29-38	PC (SM)	J1-J42	Aliment NaHCO ₃	ND	ND	ND	-54	Ahmad <i>et al.</i> (2006)
Stress chronique 27,6-35,6	PC (SM)	1-7 sem	Aliment 1% NaHCO ₃	+13	+6	PE	-67	Fathy (2006)
26-34	PC (SM)	3-6 sem	Aliment NaHCO ₃ 225mEq/Kg	ND	ND	ND	-17	Kidd <i>et al.</i> (2003)
Stress aigu (50°C/4h)	PC (SM)	J50	Aliment 1% NaHCO ₃	ND	ND	-2	-50	Fathy (2006)
26-31	PC(SM)	5-7 sem	Aliment NaHCO ₃ 225mEq/Kg	ND	ND	ND	-9	Kidd <i>et al.</i> 2003
27,1-33,6	PC (SM)	0-7 sem	Aliment 0,5% NaHCO ₃					
			Mâles	ND	ND	ND	-3	Puron <i>et al.</i> (1994)
			Femelles	ND	ND	ND	+130	
27.2 -34.3	PC (SM)	0-7 sem	Aliment 0,6% NaHCO ₃					
			Mâles	ND	ND	ND	-3	Puron <i>et al.</i> (1994)
			Femelles				PE	
26.7-34.7C	PC (SM)	0-7 sem	Aliment 0,6% NaHCO ₃					
			Mâles	ND	ND	ND	+43	Puron <i>et al.</i> (1994)
			Femelles	ND	ND	ND	+10	

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

CE : consommation d'eau ; E/A : ratio consommation d'eau/consommation d'aliment ; TC : température corporelle ; PC : poulet de chair ; SM : sexes mélangés ; PE : pas d'effet ; ND : Non déterminé

b) Effet de l'addition de (NaHCO₃) sur l'équilibre acido-basique

L'utilisation du bicarbonate de sodium (NaHCO₃) comme source de Na (correcteur de l'équilibre acido-basique) augmente l'ingestion d'eau et corrige indirectement l'équilibre acido-basique, en couvrant les besoins du poulet en ions carbonates perdus au cours du stress thermique (Souilem *et al.*, 2000 ; Allagui *et al.*, 2004 ; Nassem *et al.*, 2005).

Une dose comprise entre 2 et 8 g de bicarbonate de sodium par litre d'eau supplémentée chez des poulets de chair âgés de 21 jours et de 49 jours au cours du stress thermique (31°C) corrige l'équilibre acido-basique (Souilem *et al.*, 2000). En revanche, Nassem *et al.* (2005) ne rapportent pas d'amélioration de la kaliémie et de la teneur en Na sanguins suite à l'addition de 0,5% de NaHCO₃ dans l'eau de boisson, administrée à des poulets de 5 semaines d'âge soumis à 36°C.

La dose de NaHCO₃ à utiliser doit être raisonnée, en effet, Souilem *et al.* (2000) rapportent qu'une augmentation du taux de mortalité est observée avec la dose de 10g de bicarbonate de sodium/litre d'eau, associée à des états de déshydratation, des néphrites et causant une perturbation de l'équilibre acido-basique et électrolytique. De ce fait, il ressort que le risque toxique du bicarbonate utilisé dans l'eau de boisson est plus probable que lorsque cet additif est mélangé dans l'aliment. L'ajout de bicarbonate de sodium présente l'avantage de réaliser un apport de sodium (cation) sans chlore (anion), de ce fait il permet d'orienter le bilan électrolytique vers les zones positives optimales (Souilem *et al.*, 1999). Toutefois, le bicarbonate de sodium, en apportant les ions bicarbonates, peut aggraver les états d'alcalose sanguine d'origine respiratoire (Bottje et Harrison, 1985). D'où l'intérêt de l'associer avec d'autres sels acidifiants, comme le chlorure d'ammonium, de sodium et de potassium (Souilem *et al.*, 2000).

Tableau 10 : Effet de l'addition de l'association de sels, vitamines, acide ascorbique + techniques sur les performances de croissance du poulet exposé à des températures élevées (Synthèse des données bibliographiques).

Température ambiante (°C)	Espèce	Age	Traitement électrolytes	GP*	IA*	IC*	Auteurs et Année
23-31	PC(M)	4-6sem	Aliment(NaCl, NaHCO ₃ , NH ₄ Cl, KHCO ₃) 120mEq/Kg 240mEq/Kg 360mEq/Kg	+4 +11 +7	+4,5 +7 +7	PE -3 PE	Borges et al. (2003a)
28-32 (1-2 sem) 33-35 (3-6 sem)	PC(M)	0-6 sem	Aliment(NaCl, NaHCO ₃ , NH ₄ Cl, KHCO ₃) 140 mEq/Kg 240 mEq/Kg 340 mEq/Kg	-2 +2 PE	-1,2 +3 +2	PE PE +2	Borges et al. (2003b)
Stress aigu 41°C(45mn)	PC (SM)	j44	Aliment(NaCl, NaHCO ₃ , NH ₄ Cl, KHCO ₃) 120 mEq/Kg 240 mEq/Kg 360 mEq/Kg	+4 +9 +5	ND ND ND	PE -3 PE	Borges et al. (2004)
35-36,66	PC (SM)	4-5 sem	Eau de boisson 1,5% KCl + 0,5% NaHCO ₃	+27	ND	-14	Nassem et al. (2005)
30-33(12h) 21-23(12h)	PC(F)	5-6 sem	Aliment ASA :62,5mg/l AA : 62,5mg/l NaHCO ₃ :75mg/l KCl : 125mg/l	+43	+11	-22	Roussan et al. 2008
20,1-39,6	PC (M)	3-7 sem	Aliment 0,5% NaHCO ₃ + Densité (10,5s/m ²) (13,5s/m ²)	+3 +3	PE PE	-2 -2	Puron et al. (1997)
25-38	PC (SM)	2-8 sem	Eau de boisson0,5% KCl +Restriction alimentaire (8h /J)	+3 +4	PE PE	-2 -4	Soutyrine et al. (1998)

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

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

II.3.3. Utilisation de mélanges d'électrolytes associée à des pratiques techniques de lutte contre le stress thermique

a) Effet sur les performances de croissance, la consommation d'eau, la température corporelle et la mortalité

Des mélanges d'électrolytes ajoutés à l'eau de boisson ou à l'aliment se sont révélés plus ou moins efficaces sur l'amélioration de la croissance du poulet exposé à une température ambiante élevée, citons l'exemple du KCl combiné au NaHCO₃ (Soutyrine *et al.*, 1998 ; Souilem *et al.*, 2000 ; Nasseem *et al.*, 2005), et au NH₄Cl (Smith et Tetter, 1993). Aussi, l'association de ce mélange à l'acide ascorbique dans l'eau de boisson améliore la consommation d'aliment et le gain du poids du poulet exposé au chaud (Roussan *et al.*, 2008).

Soutyrine *et al.* (1998) suggèrent que sous des conditions de stress thermique, la combinaison de la restriction alimentaire de 8 heures et la supplémentation en KCl améliore les performances de croissance du poulet, notamment son efficacité alimentaire (Tableau 10). De même que l'ajout de NaHCO₃, KCl et acide ascorbique combinés lors d'un stress thermique améliore significativement le gain de poids et efficacité alimentaire (Roussan *et al.*, 2008).

Par ailleurs, l'association du NaHCO₃ avec d'autres sels augmente significativement la consommation d'eau ainsi que le ration eau/aliment (Fathy, 2006 ; Borges *et al.*, 2004) et diminue le taux de mortalité des poulets soumis à un stress thermique (Deyhim et Teeter, 1991).

Tableau 11 : Effet de l'addition de l'association de sels, de vitamines, d'acide ascorbique + techniques sur la consommation d'eau, la température corporelle et la mortalité du poulet exposé à des températures ambiantes élevées (Synthèse des données bibliographiques).

Température Ambiante (°C)	Espèce	Age	Traitement	CE*	E/ A*	TC*	Mortalité*	Auteurs et Année
23-31	PC (M)	4-6 sem	Aliment (NaCl, NaHCO ₃ , NH ₄ Cl, KHCO ₃) 120 mEq/Kg 240 mEq/Kg 360 mEq/Kg	+4 +13 +28	PE +5 +17	ND ND ND	+2 +5 +2	Borges et al. (2003a)
28-32 (1-2 sem) 33-35 (3-6 sem)	PC (M)	0-6 sem	Aliment (NaCl, NaHCO ₃ , NH ₄ Cl, KHCO ₃) 140 mEq/Kg 240 mEq/Kg 340 mEq/Kg	ND ND ND	ND ND ND	ND ND ND	+5 PE -5	Borges et al. (2003b)
Stress aigu 41°C (45mnj44)	PC (SM)	6 sem	Aliment (NaCl, NaHCO ₃ , NH ₄ Cl, KHCO ₃) 120 mEq/Kg 240 mEq/Kg 360 mEq/Kg	+3 +13 +29	PE +7 +23	-2 -2 PE	PE +3 PE	Borges et al. (2004)
30-33(12h) 21-23(12h)	PC (F)	5-6 sem	Eau de boisson ASA :62,5mg/l ; AA : 62,5mg/l ; NaHCO ₃ :75mg/l, et KCl : 125mg/l	ND	ND	ND	-54	Roussan et al. 2008
20-39,6	PC (M)	3-7 sem	Aliment 0,5% NaHCO ₃ + Densité (10,5s/m ²) (13,5s/m ²)	ND ND	ND ND	ND ND	+11 +9	Puron et al. (1997)

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

CE : consommation d'eau ; E/A : ratio consommation d'eau/consommation d'aliment ; TC : température corporelle ; PC : poulet de chair ; SM : sexes mélangés ; M : mâles ; F : Femelles ; PE : pas d'effet ; ND : Non déterminé

b) Effet sur l'équilibre acido-basique

Naseem et al. (2005) rapportent que durant un stress thermique, l'adjonction dans l'eau de boisson de 1,5% KCl et 0,5% NaHCO₃, augmente les taux de potassium et de bicarbonate dans le sang.

Tableau 12 : Effet de l'addition de l'association de sels + techniques sur les électrolytes sanguins du poulet exposé à des températures élevées (Synthèse des données bibliographiques).

Température ambiante (°C)	Espèce	Age	Traitement Electrolytes	Na+*	K+*	Auteurs et Année
28-32 (1-2sem) 33-35 (3-6sem)	PC (M)	0-6 sem	Aliment (NaCl, NaHCO ₃ , NH ₄ Cl, KHCO ₃) 140 mEq/Kg 240 mEq/Kg 340 mEq/Kg	PE PE PE	-3 +4 PE	Borges et al. (2003b)
Stress aigu 41°C (45mn)	PC (SM)	6 sem (à J44)	Aliment (NaCl, NaHCO ₃ , NH ₄ Cl, KHCO ₃) 120 mEq/Kg 240 mEq/Kg 360 mEq/Kg	PE PE PE	-6 -7 PE	Borges et al. (2004)
35-36,5	PC (SM)	4-5 sem	Eau de boisson 1,5% KCl + 0,5% NaHCO ₃	ND	+14	Nassem et al. (2005)
25-38	PC (SM)	2-8 sem	Eau de boisson 0,5% KCl +RA (8h /j)	ND ND	+7 +2	Soutyrine et al. (1998)

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

Na+ : Sodium ; K+ : potassium ; PC : poulet de chair ; SM : sexes mélangés ; M : mâles ; RA :Restriction alimentaire ; PE : pas d'effet ; ND : Non déterminé

c) Effet sur les composants sanguins et les facteurs immunitaires

Suite à la supplémentation de l'aliment en NaCl, NaHCO₃, NH₄Cl, KHCO₃, Borges et al. (2003b, 2004) soulignent une amélioration de l'immunité chez des poulets exposés à la chaleur ambiante élevée (Tableau 13). Aussi, l'ajout de KCl dans l'eau de boisson associée à la restriction alimentaire augmente le taux d'hématocrite chez les poulets soumis à une ambiance chaude (Soutyrine et al., 1998).

Tableau 13 : Effet de l'addition de l'association de sels sur les composants sanguins et l'immunité du poulet exposé à des températures élevées (Synthèse des données bibliographiques).

Température ambiante	Espèce	Age	Traitement électrolytes	Hct*	Hb*	H*	L*	H/*L	Auteurs et Année
28-32 (1-2sem)	PC (M)	0-6 sem	Aliment (NaCl, NaHCO ₃ , NH ₄ Cl, KHCO ₃)						Borges et al.
33-35 (3-6sem)			140 mEq/Kg	+5	+4	-19	+17	ND	(2003b)
			240 mEq/Kg	+5	-3	-15	+14	ND	
			340 mEq/Kg	PE	PE	-4	+4	ND	
Stress aigu 41°C (45mn)	PC (SM)	6 sem (à j44)	Aliment (NaCl, NaHCO ₃ , NH ₄ Cl, KHCO ₃)						Borges et al.
			120 mEq/Kg	-11	-12	-6	+5	-12	al. (2004)
			240 mEq/Kg	PE	PE	-30	+22	-42	
			360 mEq/Kg	+11	+13	-10	+7	-20	
25-38	PC (SM)	2-8 sem	Eau de boisson 0,5% KCl + Restriction alimentaire (8h /J)	+8	+4	ND	ND	ND	Soutyrine et al. (1998)

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

Hct : Hématocrite ; Hb : Hémoglobine H : hétérophiles ; L : lymphocytes ; H/L : hétérophiles /lymphocytes ; PC : poulet de chair ; SM : sexes mélangés ; M : mâles ; PE : pas d'effet ; ND : Non déterminé.

II.4. Utilisation de l'acide acétique ou « vinaigre »

Lors du stress thermique, l'addition de l'acide acétique ou du « vinaigre » dans l'eau de boisson est une pratique courante dans les élevages avicoles pour lutter contre la chaleur en compensant le phénomène d'alcalose respiratoire. Cette pratique est préconisée dans différents documents de vulgarisation précisant un taux de 1/1000 litres d'eau (Desbordes, 2007). Il est tout de même à signaler que l'utilisation continue de l'acide acétique pendant une longue période peut induire une déminéralisation chez le poulet.

Dans des conditions de thermoneutralité, plusieurs travaux font état de l'utilisation de l'acide acétique dans l'alimentation du poulet. Ainsi, Furuse et Okumura (1989) rapportent une

amélioration de la croissance du poulet rationné, recevant un aliment contenant 2,5% d'acide acétique. Aussi, le trempage de la vesce (contenant des facteurs antinutritionnels : vicine, convicine, beta-cyanoalanine) dans l'acide acétique améliore l'EM et la digestibilité des acides aminés de 10% (Farran *et al.*, 2001). L'acide acétique est également utilisé, lors de l'abattage, dans la décontamination des carcasses de poulets. Il améliore significativement la qualité microbiologique de ces dernières, comparativement à celles des témoins après emploi d'une eau non traitée (Dickens et Whittmore, 1997 ; Berrong *et al.*, 2006).

A notre connaissance, la littérature ne rapporte pas d'études scientifiques relatives aux effets de l'acide acétique sur les performances, le métabolisme et la physiologie du poulet soumis à des températures élevées, à l'exception des travaux récents de Kadim *et al.* (2008) réalisées sur la poule pondeuse et ceux de Hassan *et al.*, (2009) sur le poulet de chair . En effet, Kadim *et al.*, (2008) ont étudié l'impact de la supplémentation de l'aliment en acide acétique à différentes doses (0, 200, 400 et 600 ppm) chez la poule pondeuse âgée de 30 semaines, soumise à une température moyenne de 35°C et une humidité relative de 65% pendant 10 semaines, sur les performances de ponte et la qualité des œufs. Ces derniers concluent que l'addition de l'acide acétique dans l'aliment à la teneur de 600 ppm améliore notablement, le nombre et la qualité des œufs (Tableau 14).

Tableau 14 : Effet de la supplémentation de l'aliment en acide acétique sur les performances de ponte et la qualité des œufs des poules pondeuses soumises à un stress thermique chronique (Kadim *et al.*, 2008).

Paramètres	Acide acétique (ppm)			
	0	200	400	600
Nombre d'œufs	25,9a	28,7b	30,3c	32,3d
Nombre d'œufs/poule pondeuse	0,81a	0,83b	0,87c	0,90d
Poids de l'œuf (g)	58,9a	60,2b	61,2bc	62,3c
Unité Haugh (mm)	109,2a	110,5a	111,8b	112b

Par ailleurs, Hassan *et al.* (2009) montrent que la supplémentation de l'eau de boisson en acide acétique à raison 1,5 ml/litre, chez le poulet de chair soumis à un stress thermique chronique de 32°C pendant 6 semaines, a permis une augmentation du poids vif et de la consommation d'eau, ainsi qu'une meilleure réponse immunitaire révélée par une amélioration du ratio H/L (Tableau 15).

Tableau 15 : Effet de la supplémentation de l'eau de boisson en acide acétique sur le poids vif, la consommation d'eau et le ratio H/L du poulet de chair soumis à un stress thermique chronique à 6 semaines d'âge (Hassan et al., 2009)

Paramètres	Acide acétique ml/litre	
	0	1,5
Poids vif (g)	1602	1950
Consommation d'eau (ml/j/ sujet)	266,4	288,5
Ratio H/L	0,38	0,18

Matériels et Méthodes

Le présent travail a pour but d'étudier, dans nos conditions locales, l'effet de l'ajout d'additifs (vitamine C, électrolytes KCl+NaHCO₃ et acide acétique) dans l'eau de boisson en association avec le retrait diurne de l'aliment, sur les performances zootechniques, la qualité de la carcasse, l'équilibre hémostatique et l'immunité du poulet de chair élevé en ambiance chaude.

I. Lieu, durée et période de l'essai

Notre essai s'est déroulé au niveau de la Station Expérimentale des Monogastriques de l'Institut Technique des Elevages (ITELV) de Baba Ali – Alger.

La période expérimentale s'étalait du 06 Septembre au 01 Octobre 2007. Elle était précédée d'une **période pré-expérimentale** de 28 jours (du 09 août au 05 septembre 2007), où les poulets étaient soumis à des conditions standards d'élevage.

La durée du traitement (apport d'additifs et retrait de l'aliment) était donc de 3 semaines, couvrant la période allant du milieu de la phase croissance d'élevage (J28) jusqu'à la fin de la phase de finition (J53).

II. Animaux et traitements

Neuf cent quatre-vingt dix poussins d'un jour de souche ISA J15, acquis auprès du même couvoir, sont répartis en 18 lots de 55 sujets de poids homogène ($40,7 \pm 0,6$ g). Ces animaux sont élevés sous des conditions d'élevage standards jusqu'à l'âge de 28 jours.

A, l'âge de 29 jours, les animaux sont pesés, triés et sexés pour être répartis en **4 groupes expérimentaux** de poids homogène de 220 poulets chacun. Chaque groupe de poulet (n=220) est alors divisé en 5 lots de 44 sujets (22 mâles et 22 femelles par parquet). (Tableau 16).

Dans cet essai, nous comparons 4 traitements expérimentaux :

1. **Un groupe T** (témoin), recevant un aliment classique *ad libitum* et une eau de boisson sans additifs.
2. **Un groupe ER**, recevant une eau de boisson contenant un mélange d'électrolytes à raison de 2,5g/l de NaHCO₃ et 2,5g/l de KCl (soit 0,25% NaHCO₃ et 0,25% de KCl) et soumis à une restriction diurne alimentaire.
3. **Un groupe CR**, recevant une eau de boisson contenant de l'acide ascorbique (vitamine C) à raison de 167 mg/l et soumis à une restriction diurne alimentaire.
4. **Un groupe VR**, recevant une eau de boisson contenant de l'acide acétique (du vinaigre commercial à 5°) à raison de 2 ml/l d'eau comme additif et soumis à une restriction diurne alimentaire.

Tableau 16 : Poids vif moyen initial, global et par sexe, des poulets des différents traitements à l'âge de 29 jours (moyennes et SEM ; n=5,)

paramètres	Traitements expérimentaux				SEM	ANOVA (p)
	T	ER	VR	CR		
Poids vif moyen global	933,4	958,6	973,0	957,2	6,91	0,909
Poids vif moyen des mâles	1019,9	035,1	032,3	1017,1	44,25	0,991
Poids vif moyen des femelles	843,7	882,1	913,7	897,2	29,91	0,443

En pratique :

L'eau supplémentée en additifs est distribuée tôt le matin avant les heures les plus chaudes de la journée à raison de 3 litres d'eau traitée par poulet. Une fois cette eau traitée bue, une eau de boisson non supplémentée est distribuée *ad libitum*.

Le retrait d'aliment, appliqué aux groupes CR, ER et VR, se fait aux heures les plus chaudes de la journée : de 8 h jusqu'à 16h soit une durée globale de 8 heures par jour. Les mangeoires sont ensuite remises en place entre 16h et 8h du matin. Le groupe témoin est alimenté à volonté.

III. Aliments

Les animaux ont reçu les mêmes aliments de base, sous forme de farine et fabriqués par l'ONAB. Les trois aliments correspondent à chaque phase d'élevage, à savoir :

- un aliment Démarrage distribué entre J1 et J11;
- un aliment Croissance distribué entre J11 et J42
- et un aliment Finition donné entre j42 et j52.

La composition et les caractéristiques de ces trois aliments figurent sur le Tableau 17

Tableau 17 : Composition et caractéristiques des aliments utilisés au cours de l'essai.

	Démarrage	Croissance	Finition
Energie métabolisable (kcal/Kg)	2800	2900	2930
Protéines brutes (%)	21	19	17
Matières premières (%)			
- Mais	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
- PBC	1,50	1,00	1,10
- Méthionine	0,03	-	-
- CMV Antistress	1,00	-	-
- CMV (D-C)	1,00	1,00	-
- CMV (F)	-	-	1,00

PBC : Phosphate bicalcique ; CMV : Complément Minéral Vitaminé ;

D-C : Démarrage – Croissance ; F : Finition

IV. Bâtiment :

Les animaux sont élevés dans un même bâtiment de type obscur, afin d'assurer les mêmes conditions d'élevages et environnementales : programme lumineux, hygrométrie et température ambiante. Le bâtiment est composé de 20 parquets d'une superficie de 3,33m²

chacun, disposés en 2 rangées séparées par un couloir central. Le bâtiment est équipé de 2 extracteurs et d'un panneau "pad-cooling" (Figures 4 et 5).

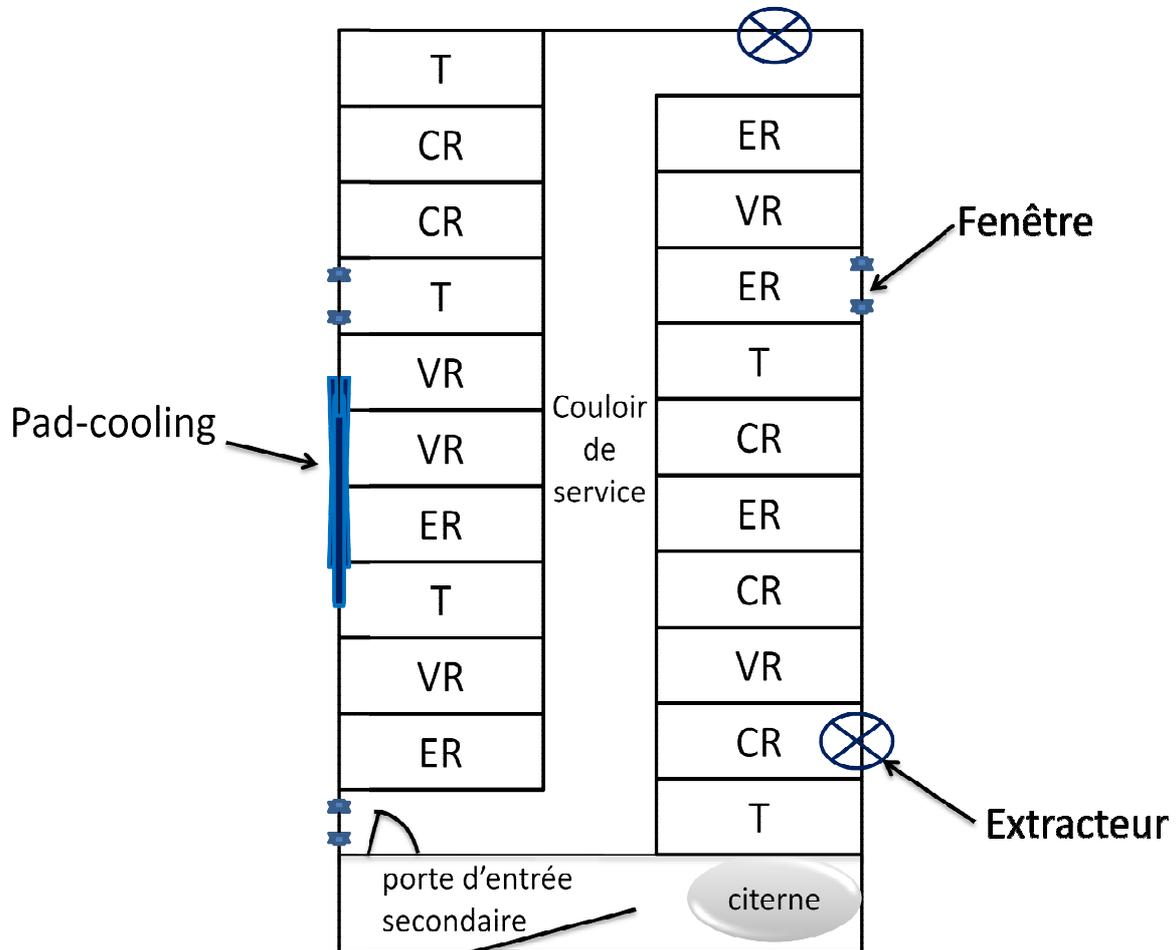


Figure 4 : Schéma du bâtiment d'élevage



Figure 5 : Vue extérieure du bâtiment d'élevage.

V. Les conditions d'ambiance

V.1. La température

A la mise en place, les poussins d'un jour ont été soumis à une température ambiante conforme aux normes standards d'élevage, soit 34°C. Cette dernière a été ensuite abaissée graduellement de 1°C par jour pour atteindre 30°C à 5 jours d'âge. Toutefois, à partir de la 2^{ème} semaine d'âge et jusqu'au 28^{ème} jour d'âge, la température ambiante naturelle dépassait les normes (Tableau 18).

Tableau 18 : Températures ambiante (Ta) et aire de vie (Tav) et humidité relative (HR) moyenne enregistrées pendant la période pré-expérimentale (J0-J28) (moyennes et SEM)

Période	Ta (°C)	Tav (°C)	HR (%)	Normes Tav (°C)
Semaine 1	34±1,3	33±0,9	58±11	32
Semaine 2	31±1,0	31±0,8	74±7	30
Semaine 3	33,5±3,6	33±3,4	52±12	28
Semaine 4	30±1,1	30±1,1	60±8	25

Durant toute la période expérimentale (de J28 à J52), l'ensemble des lots était exposé à un stress thermique chronique contrôlé, naturel ou avec un appoint de chaleur. Ainsi, la température ambiante moyenne variait entre 30 et 32°C.

En fin d'élevage, les animaux sont exposés à un stress thermique aigu provoqué. En pratique, à l'âge de 52 jours, la température du bâtiment a été augmentée à 37°C, par appoint de chauffage, pendant une durée de 3 heures.

Les températures d'élevage (ambiante et aire de vie) sont mesurées quotidiennement à l'aide de 7 thermomètres répartis de façon homogène au niveau du bâtiment. Deux d'entre eux sont placés à 2 m pour la mesure de la Ta et 5 à 30 cm du sol pour la Tav.

V.2. L'hygrométrie et éclairage

L'hygrométrie, contrôlée à l'aide d'un hygromètre placé au milieu du bâtiment à 1,80m du sol, est maintenue entre 50 et 70% pendant tout l'essai.

Le programme lumineux appliqué durant l'essai, est de 24h /24h avec une intensité de 4 watts/m².

VI. Programme de prophylaxie

Durant toute la phase expérimentale, le programme de prophylaxie appliqué est indiqué dans le Tableau 19. Notons que l'anti-stress, habituellement utilisé dans le programme de prophylaxie standard, n'a pas été distribué durant la phase expérimentale afin d'éviter un éventuel effet sur le statut immunitaire du poulet.

Tableau 19 : Programme de prophylaxie appliqué durant toute la phase d'élevage

Age en jour	Vaccination	Mode d'administration
1	Anti-stress pendant 5 jours	Eau de boisson
4	Vaccination contre la maladie de Newcastle (souche vaccinale HB ₁)	Eau de boisson
7	Vitamine AD3 E +Vitamine C +Anti-infectieux	Eau de boisson
14	Vaccination contre la maladie de Gumboro (souche vaccinale D78)	Eau de boisson
17	Traitement anticoccidien pendant 5 jours	Eau de boisson
21	Rappel de vaccination contre la maladie de Newcastle (Souche Vaccinale La Sota)	Eau de boisson
32	Rappel de vaccination contre la maladie de Gumboro	Eau de boisson
33	Rappel de traitement anticoccidien pendant 5 jours.	Eau de boisson

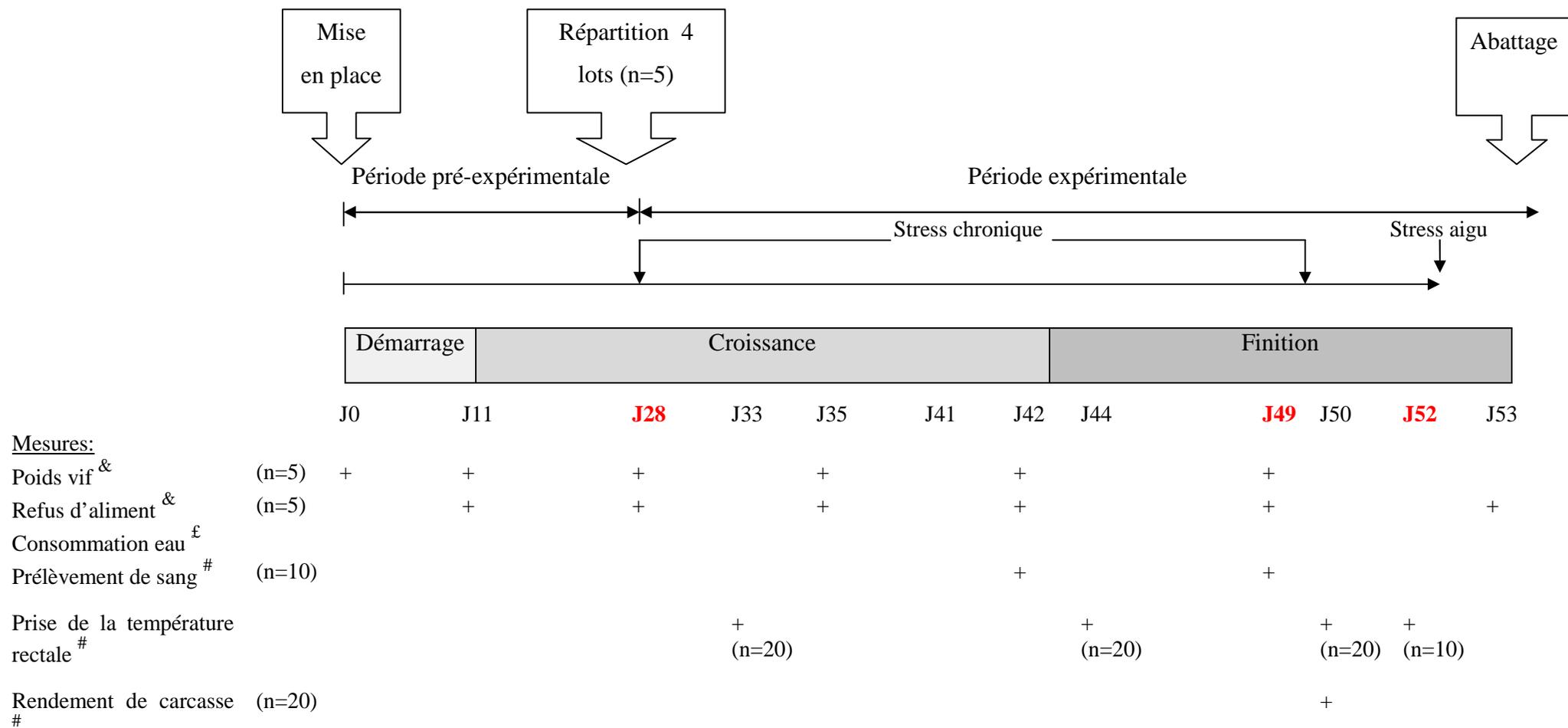


Figure 6 : Schéma du protocole expérimental. [&] Mesures collectives ; [#] Mesures individuelles ; [£] Mesures quotidiennes

(n=nombre de répétitions pour chaque paramètre)

VII. Les Mesures

Le dispositif expérimental et les mesures effectuées sont récapitulés dans la Figure 6.

Cette étude comporte trois volets :

- Relevé de la température et de l'hygrométrie durant toute la période de l'élevage,
- Mesure des performances zootechniques et qualité de la carcasse,
- Mesure des paramètres physiologiques : température rectale, équilibre acido-basique sanguin et réponse immunitaire.

VII.1. Paramètres d'élevage

La température ambiante (T_a) et celle de l'aire de vie (T_{av}), ainsi que l'hygrométrie sont relevées quotidiennement à 8h, 10h, 12h, 14h et 16h.

VII.2. Les paramètres zootechniques

VII.2.1. Poids vif moyen

Durant la période pré-expérimentale (0 à 28 jours d'âge), le poids vif moyen des poussins de chaque lot a été effectué à J0, J10, à J28.

A partir de 4 semaines d'âge, des pesées hebdomadaires des poulets mâles et femelles (séparément) ont été réalisées.

Le poids vif moyen est calculé selon la formule suivante :

$$\text{Poids vif moyen (g)} = \text{Poids total des sujets (g)} / \text{Nombre des sujets}$$

VII.2.2. Le gain de poids

Le gain de poids est estimé par différence entre le poids vif moyen final et initial de la période considérée.

$$\text{Gain de poids (g)} = \text{poids vif moyen final} - \text{poids vif moyen initial.}$$

VII.2.3. L'ingéré alimentaire

La quantité moyenne d'aliment consommé est mesurée pour chaque phase d'élevage (période expérimentale) ainsi que lors de l'application du stress thermique aigu. Afin

d'estimer la quantité réelle d'aliment consommée, cette dernière a été ajustée en considérant l'effectif présent pendant la période considérée, comme suit :

$$\text{Quantité moyenne d'aliment consommé (g)} = \frac{\text{Quantité d'aliment distribué} - \text{refus}}{\text{Nombre de poussins présents}} * \text{durée de la phase (j)}$$

VII.2.3. Indice de conversion

C'est le rapport entre la quantité moyenne d'aliment ingéré et le gain de poids moyen réalisé, pour une période donnée. Il est calculé selon la formule suivante :

$$\text{IC (g/g)} = \text{Consommation d'aliment par sujet} / \text{Gain de poids par sujet}$$

VII.2.4. Consommation d'eau

La quantité d'eau distribuée ainsi que la quantité d'eau refusée ont été mesurées chaque jour à heure fixe (entre 8 heures et 9 heures).

La quantité d'eau consommée a été calculée, pour chaque groupe, de manière hebdomadaire durant toute la phase du stress thermique chronique et le jour du stress thermique aigu (J52).

$$\text{Quantité d'eau consommée/sujet (ml)} = \frac{\text{quantité d'eau consommée pendant une semaine (ml)}}{\text{Nombre de sujets vivants}}$$

Le rapport consommation eau (CE) sur consommation d'aliment (CA) par sujet et par jour est calculé comme suit :

$$\text{Ratio CE/CA (g/ml)} = \text{consommation d'eau (ml/s/j)} / \text{consommation d'aliment (gr/s/j)}$$

VII.2.6. Taux de mortalité

Le taux de mortalité (TM %) est calculé comme suit :

$$\text{TM (\%)} = \text{Nombre de sujets morts} * 100 / \text{Nombre de sujets mis en place au début de la phase}$$

Le taux de mortalité a été calculé pour chaque période pour chaque groupe, et lors de l'application du stress thermique aigu (à J52).

VII.2.7. Rendement de carcasse

A l'âge de 50 jours, 4 sujets (2 mâles et 2 femelles) ayant un poids représentatif de leur lot, sont prélevés à partir de chaque parquet (soit 20 poulets par traitement) pour l'étude de la carcasse. Ces animaux, préalablement mis à jeun (environ 12h) sont pesés, sacrifiés par saignée, puis plumés. Après plumaison, les carcasses sont conservées 24 heures au froid (ressuyage) et repesées. Le gras abdominal, le foie, le cœur et le gésier sont ensuite prélevés et pesés. Le poids de la carcasse, renfermant les poumons et les reins, est également mesuré.

VII.3. Les paramètres physiologiques

VII.3.1. La température rectale

La température rectale a été mesurée à J33, J44 et J50 sur 2 poulets par parquet (1 mâle et 1 femelle) à l'état basal et nourri. Lors du stress aigu final (J52), la température corporelle a été prise uniquement sur des mâles nourris.

La prise de température rectale est effectuée à la même heure (entre 12 et 13 heures), à l'aide d'un thermomètre de type digital, introduit d'environ 6 centimètres dans le cloaque du poulet.

VII.3.2. Paramètres hématologiques et biochimiques

VII.3.2. 1. Prélèvement de sang

Les prélèvements de sang ont été effectués à l'âge de 6 et 7 semaines, à l'heure la plus chaude de la journée (entre 12 heures et 13 heures) sur 10 poulets par traitement (5 mâles et 5 femelles) ayant un poids vif moyen représentatif de leur lot.

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, l'un dans un tube contenant de l'EDTA, destiné pour le dosage d'hémoglobine, la lecture du taux d'hématocrite, le comptage des cellules immunitaires et le comptage des cellules lymphocytaires et hétérophiles et l'autre dans un tube contenant de l'héparine pour le dosage du potassium et du sodium plasmatiques.

VII.3.2. 2. Mesures effectuées

a) Mesure du taux d'hématocrite

Dans un tube capillaire rempli de sang centrifugé (15 000 t/minute pendant 5 minutes, micro-centrifugeuse à hématocrite–JOUAN), la hauteur de la colonne d'hématies et la hauteur totale du sang contenu dans le tube, sont mesurées à l'aide d'une règle de lecture.

La mesure de l'hématocrite consiste à apprécier la proportion des globules rouges par rapport à celle du plasma. Les valeurs normales exprimées en %, sont comprises entre 22 et 25% (Campbell, 1995 et 1994).

b) Dosage de l'hémoglobine

L'hémoglobine est mesurée à l'aide d'un kit selon la méthode colorimétrique de DRABKIN (cyan méthémoglobine ; fiche technique en annexe 1.

Le dosage quantitatif de l'hémoglobine (Hb) dans le sang total est effectué après une réaction de 3 minutes à température ambiante. La lecture se fait à l'aide d'un spectrophotomètre (LKB Novastec), à la longueur d'onde de 540nm. Le taux d'Hémoglobine est calculé comme suit:

$$\text{Teneur d'hémoglobine (g/dl)} = \text{DO}_{540\text{nm}} \times 36,77$$

DO: Densité optique

La valeur Normale d'Hémoglobine chez le poulet est de 7g/dl (Campbell, 1995; Bounous et *al.*, 2000).

c) Numération des globules blancs

La méthode de comptage des globules blancs se fait à l'aide d'une pipette de dilution graduée pour leucocytes (pipette de THOMAS). Le sang est dilué au $1/20^{\text{ème}}$ avec du liquide de Türck. La lecture de la solution est réalisée en cellule de MALASSEZ (Figure 7). Le

comptage se fait à l'aide d'un microscope optique (Bentley Observer 50) avec l'objectif 40, sur un nombre N de leucocytes dans 5 bandes horizontales. Le nombre de leucocytes par mm³ de sang est calculé comme suit :

$$\text{Nombre de leucocytes /mm}^3 \text{ de sang} = N \times 2 \times 20 \text{ leucocytes /mm}^3$$

La valeur Normale des Globules blancs chez le poulet adulte est de : 12-30, 10⁴/μl (Campbell, 1995; Bounous et *al.*, 2000).

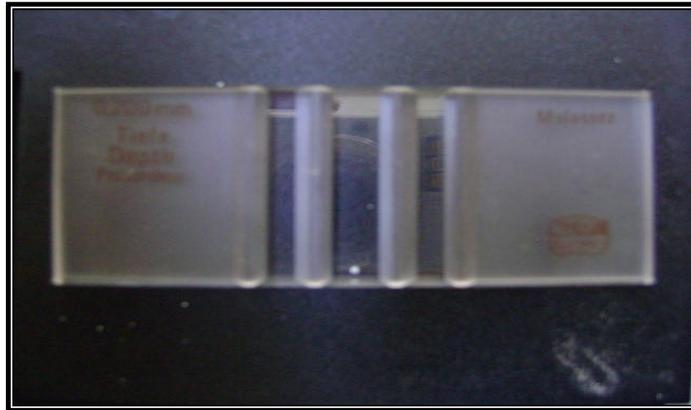


Figure 7 : La cellule de Malassez

d) Formule leucocytaire et rapport hétérophiles/lymphocytes (H/L)

Pour déterminer la formule leucocytaire et le rapport H/L, une coloration MGG (May-Grünwald Giemsa est effectuée. En pratique, les frottis réalisés sont fixés au méthanol pendant 5 min puis au May Grünwald pur pendant 3 min. Une quantité d'eau équivalente à celle du colorant utilisé est alors ajoutée.

Après 2 minutes d'attente, la lame est rincée avec de l'eau tamponnée. Du Giemsa dilué au 1/10^{ème} avec de l'eau physiologique (préparé extemporanément), est ajouté à raison de 3 ml pour chaque lame. Après un temps d'attente de 20min, la lame est rincée 2 à 3 fois à l'eau jusqu'à ce que la différenciation soit complète. Après séchage, les lames sont examinées au microscope (Bentley Observer 50) à l'objectif 100, avec utilisation de l'huile d'immersion. La zone du frottis où les leucocytes et les hématies sont répartis régulièrement et bien distincts, est recherchée. Le comptage se fait par rapport à 100 cellules leucocytaires à l'aide d'un leucodiff à 5 touches. Les résultats sont exprimés en % et en valeur absolue.

Chez le poulet adulte, les leucocytes comprennent 59 % de lymphocytes, 10,2 % de monocytes, 27,2 % d'hétérophiles, 2 % d'éosinophiles et 1,7 % de basophiles (Bourgeon, 2006). Le rapport H/L varie, à l'état normal, entre 0,42-0,45% (Campbell, 1995; Bounous et al., 2000 ; Zulkifli et al., 2000; Çinar et al., 2006).

e) Electrolytes

Le sang est centrifugé (3000 tours /min ; 6 min). Les taux d'électrolytes (K+, Na+) sont mesurés à l'aide de l'appareil "Medica, *EasyLyte* Sodium/Potassium Analyzer".

III. Analyse 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 pour les mesures collectives ou le nombre d'animaux pour les mesures individuelles pour chaque traitement).

L'homogénéité de la variance entre traitements a été vérifiée par le test de Bartlett. Les résultats sont soumis à une analyse de variance à un facteur (ANOVA 1) afin de déterminer l'effet de la supplémentation en additif associée à la mise à jeun, 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).

Résultats

Dans nos conditions expérimentales, nous avons évalué l'efficacité de l'association de solutions nutritionnelles et techniques afin de lutter contre le stress thermique chronique et aigu. Plus précisément, nous avons mesuré l'effet de l'incorporation d'électrolytes « KCl+NaHCO₃ », de vitamine C et d'acide acétique « vinaigre commercial » dans l'eau de boisson associée à une mise à jeun (8 heures/jour) chez des poulets soumis à un stress thermique chronique (32°C en moyenne ; entre 4 et 7 semaines) et à un stress thermique aigu final (37°C durant 3 heures ; à l'âge de 52 jours), sur les performances zootechniques, la qualité de la carcasse, l'équilibre acido-basique et l'immunité.

I. Stress thermique chronique

I.1. Paramètres d'ambiance

Les valeurs moyennes des conditions d'ambiance (température ambiante, Ta ; température de l'aire de vie, Tav et hygrométrie relative (HR), pendant le stress thermique chronique sont présentées dans le Tableau 20 et la Figure 8.

Pendant toute l'expérimentation, les poulets sont exposés à des températures (ambiantes et aire de vie) moyennes supérieures à 30°C et à une HR comprise entre 60 et 70%. Ces températures, relativement stables durant tout l'essai, sont au-dessus des normes préconisées et placent ainsi, les animaux dans des conditions de stress thermique chronique. Notons toutefois un pic de température survenu au 39^{ème} jour d'âge du poulet, atteignant 37°C.

Tableau 20: Température ambiante, température de l'aire de vie et humidité relative enregistrées durant le stress thermique chronique

Période	Ta°C	T av°C	HR%	Min	Max	Min	Max	Min	Max
				Ta	Ta	T av	T av	RH %	RH %
(J28-J35)	30,3±0,78	30,2±1,0	61,3±12,8	26	33	26	34	30	95
(J35-J42)	31,3±1,23	31,6±1,1	67,8±9,6	27	37	26,5	37	36	91
(J42-J49)	30,2±1,03	30±1,0	69,8±15,6	27	34,2	26	33	40	95

-Ta : température ambiante

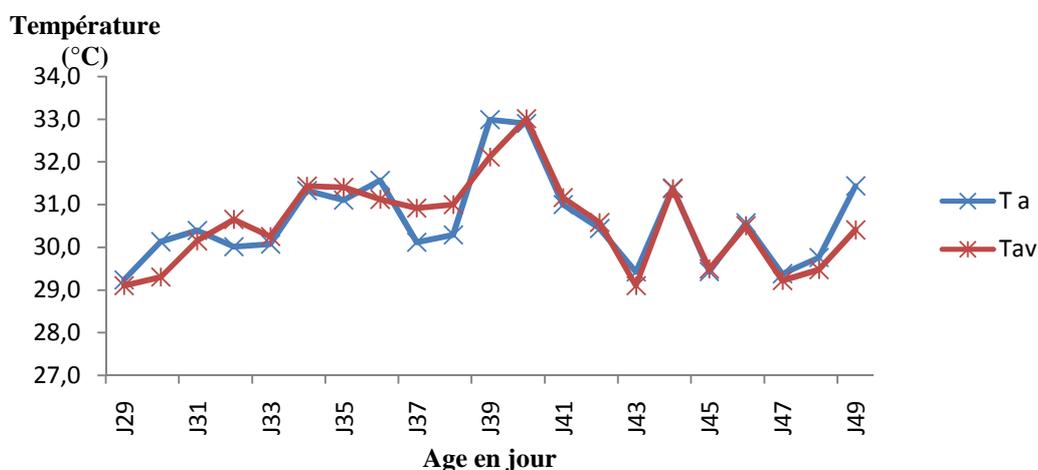
- HR : humidité relative

- Min : valeur minimale

-T av : température aire de vie

- Max : valeur maximale

(a)



(b)

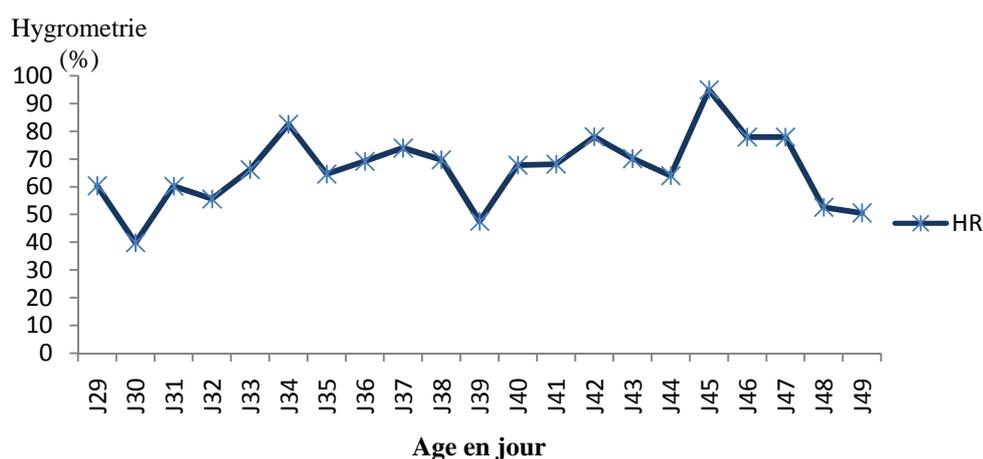


Figure 8 : Evolution quotidienne des températures ambiante et aire de vie (a) et de l'humidité relative (b) pendant la période expérimentale (29-49 jours ; stress thermique chronique)

I.2. Performances zootechniques

I.2.1. Effet de l'addition des électrolytes, vinaigre et vitamine C dans l'eau de boisson associée avec le retrait de l'aliment sur le poids vif et le gain de poids

Le poids vif et le gain du poids moyens des poulets sont présentés dans le Tableau 21 et les Figures 9 et 10.

Au début de la période expérimentale (à l'âge de 28 jours), les poulets des différents lots expérimentaux présentaient des poids vifs initiaux quasi similaires : $955 \text{ g} \pm 37$ ($P=0,90$). De

même, le poids vif des mâles, tout comme celui des femelles, était comparable entre les différents lots : 1026g ±44 (P=0,99) en moyenne pour les mâles et 884g ±30 (P=0,44), en moyenne pour les femelles.

Tableau 21 : Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur le poids vif moyen (g) et le gain de poids moyen (g) chez le poulet soumis au stress thermique chronique (moyennes et SEM ; n=5, NS : non significative ; SC :sexes confondus).

Phase d'élevage	Traitement					SEM	ANOVA
		T	ER	VR	CR	(P)	
Poids vif (g)							
à J28	SC	933,4	958,6	973,0	957,2	36,9	NS
	Mâles	1020	1035,1	1032,3	1017,1	44,2	NS
	Femelles	843,7	882,1	913,7	897,2	29,9	NS
à J35	SC	1208,7	1249,8	1279,9	1245,4	39,7	NS
	Males	1297,2	1348,4	1373,9	1329,6	42,9	NS
	Femelles	1105,1	1148,6	1194,6	1158,4	37,7	NS
à J42	SC	1343,7	1416,3	1426,4	1362,9	40,3	NS
	Mâles	1435,9	1536,8	1539,1	1492,5	46,7	NS
	Femelles	1252,8	1309,2	1313,9	1244,4	44,5	NS
à J49	SC	1627	1673,4	1697,8	1618,5	51,3	NS
	Mâles	1760,1	1828,7	1838,3	1785,9	61,9	NS
	Femelles	1503,5	1545,7	1550	1484,7	46,0	NS
Gain de poids moyen (g)							
J28-35	SC	275,3	291,2	306,9	288,2	17,5	NS
	Mâles	277,9	313,3	341,7	312,5	21,7	NS
	Femelles	261,4	266,4	280,9	261,2	17,4	NS
J35-42	SC	148,7 ^{ab}	166,5 ^a	146,5 ^{ab}	117,6 ^b	9,1	P<0,05
	Males	138,7	188,7	165,1	162,9	18,0	NS
	Femelles	147,6 ^a	160,6 ^a	119,3 ^{ab}	86 ^b	13,4	P=0,072
J42-49	SC	283,4	257,1	271,4	255,6	27,6	NS
	Mâles	324,2	291,9	299,2	293,3	43,0	NS
	Femelles	250,7	236,5	236,0	240,2	28,9	NS
Cumulé croissance (J28-42)	SC	424	457,7	453,4	405,8	19,6	NS
	Mâles	416	501,7	506,8	475,4	27,8	NS
	Femelles	409 ^{ab}	427 ^a	400,2 ^{ab}	347,2 ^b	22,1	NS
Cumulé (J28-49)	SC	693,7	714,8	724,8	661,4	95,2	NS
	Mâles	740,2	793,6	806	768,7	123,2	NS
	Femelles	659,8	663,5	636,3	587,5	75,0	NS

a, b, par ligne : entre traitements les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes

Globalement, après supplémentation en électrolytes associée à la mise à jeun, l'analyse statistique ne révèle aucune différence significative entre les poids vif moyens des poulets des différents lots, et ce quelque soit l'âge considéré.

Ainsi, à J35, nous enregistrons des écarts non significatifs de l'ordre de +6% chez les poulets du lot VR comparés aux témoins, et de +3% en moyenne pour les lots ER et CR par rapport aux témoins. Notons, que l'écart de poids vifs du lot ER enregistré au 42^{ème} jour, rejoint celui mesuré chez le lot VR (+5% et +6% par rapport au témoin, respectivement). A ce même âge, les poulets traités à la vitamine C ont un poids similaire aux témoins : variation de +1%. En fin de la période expérimentale, à 49 jours, le poids vif des poulets traités et restreints était quasi similaire à celui des témoins : 1663g en moyenne contre 1627g pour les témoins. Notons toutefois que les lots VR maintiennent un écart de poids vif supérieur à celui des témoins, comparativement aux autres lots traités : augmentation de 5%.

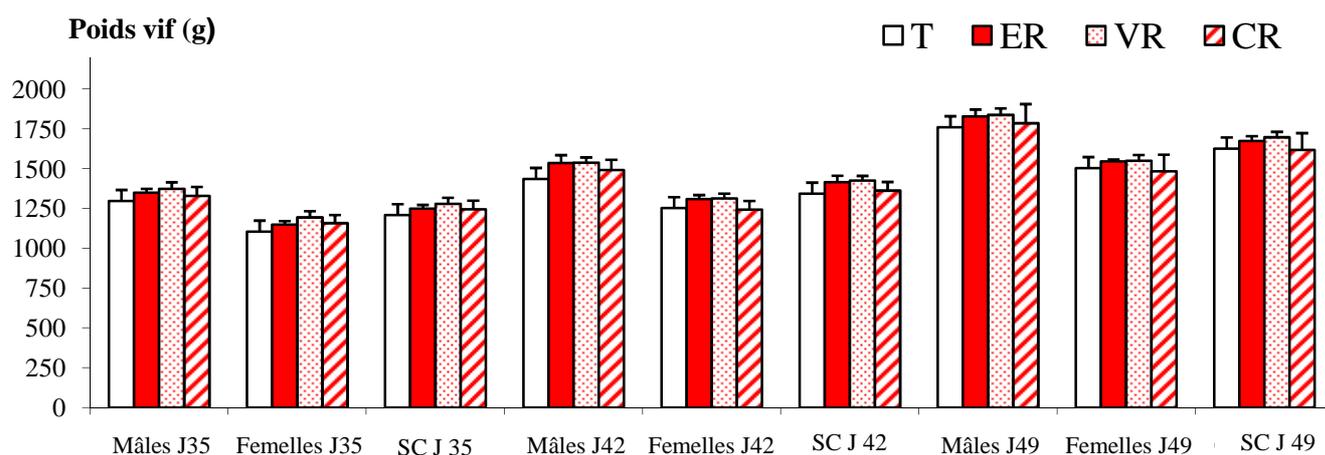
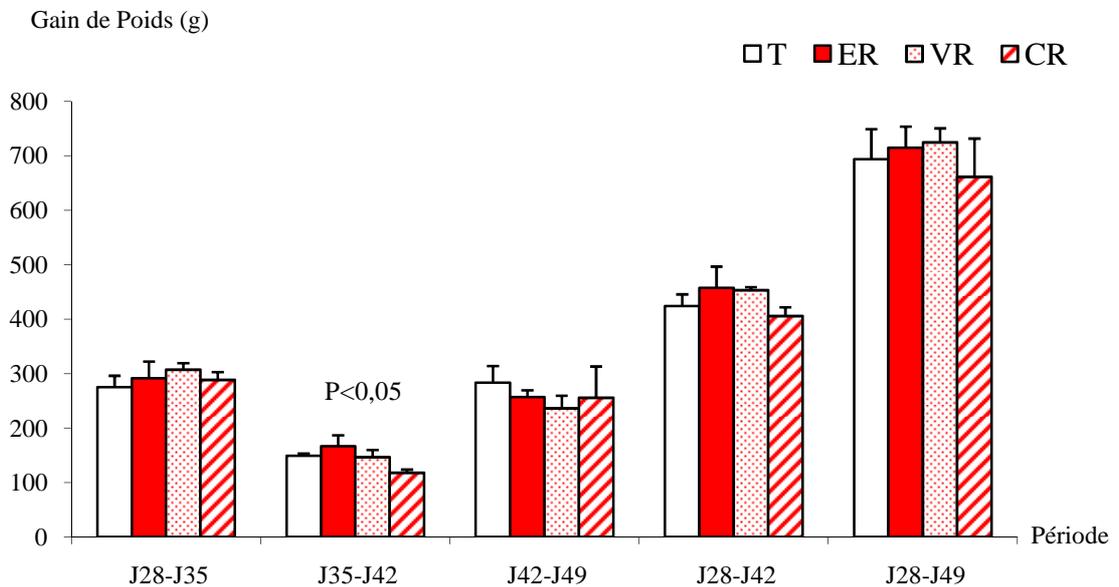


Figure 9 : Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur l'évolution hebdomadaire du poids vif moyen (g) chez le poulet soumis au stress thermique chronique (moyennes \pm SE ; n=5; SC: sexes confondus).

Par ailleurs, les gains de poids mesurés durant l'essai sont comparables entre les différents lots de poulets ($P > 0,05$). Toutefois, notons qu'entre 35 et 42 jours d'âge, le lot CR présente un gain de poids inférieur à ceux des autres lots : -20% en moyenne par rapport aux lots témoin et VR et -29% par rapport au lot ER ($P < 0,05$). Cet effet est lié au faible gain de poids

obtenu chez les poulets de sexe femelle du lot CR significativement différent de ceux enregistrés chez les poulets de même sexe des autres traitements.

(a)



(b)

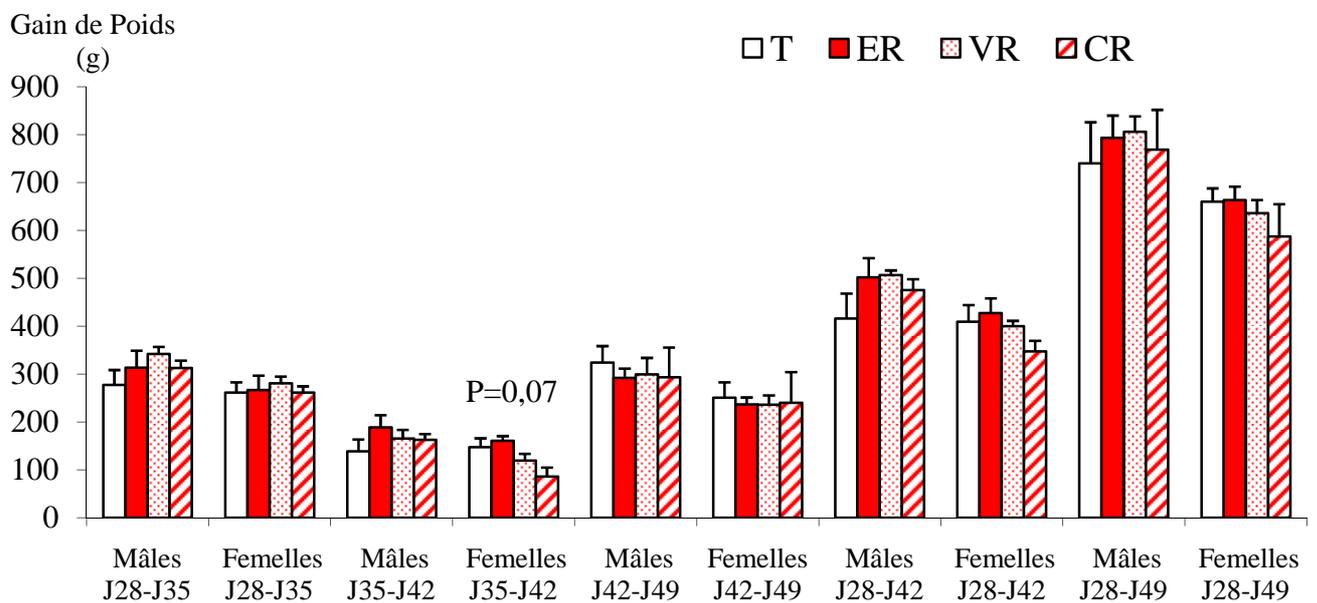


Figure 10: Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur l'évolution hebdomadaire et en périodes cumulées, du gain de poids vif moyen (g) sexes confondus (a) et selon le sexe (b) chez le poulet soumis au stress thermique chronique (moyennes±SE ; n=5).

1.2.2. Effet de l'addition des électrolytes, vinaigre et vitamine C dans l'eau de boisson associée avec le retrait de l'aliment sur l'ingéré alimentaire et indice de conversion

L'évolution des quantités d'aliment consommées et les variations de l'indice de conversion des quatre groupes au cours de l'expérimentation, sont présentée dans le tableau 22, et la figure 11.

L'analyse statistique ne montre pas de différence significative de la consommation alimentaire cumulée (de J28 à J49) entre les différents lots expérimentaux : 2446,1g en moyenne chez les lots traités contre 2449,3g chez les témoins.

Toutefois, le lot de poulets supplémentés en vinaigre et restreints présente un ingéré significativement plus faible que celui des poulets témoins entre 28 et 35 jours d'âge (-20%, $P < 0,05$). En revanche, entre 35 et 42 jours, la consommation alimentaire de ce même lot devient significativement ($P < 0,05$) supérieure à celle des témoins (+18%) et à celle des lots ER (+29%).

Tableau 22: Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur l'évolution hebdomadaire et en périodes cumulées, du l'ingéré alimentaire (g) et de l'indice de conversion (g/g) chez le poulet soumis au stress thermique chronique (moyennes et SEM ; n=5 ; NS : non significative).

Phase d'élevage	Traitements expérimentaux					ANOVA (P)
	T	ER	VR	CR	SEM	
Ingéré alimentaire (g)						
J28-35	825,7 ^a	751,3 ^{ab}	656,6 ^b	751,2 ^{ab}	36,5	$P < 0,05$
J35-42	726,2 ^{bc}	662,3 ^c	857 ^a	763,4 ^{ab}	29,6	$P < 0,05$
J42-49	897,4	989,9	1004,9	901,7	42,7	NS
Cumulé j28-42	1551,9	1413,7	1513,5	1514,6	49,4	NS
Cumulé j28-49	2449,3	2403,6	2518,4	2416,3	49,25	NS
Indice de conversion (g/g)						
J28-35	3,1 ^a	2,7 ^{ab}	2,1 ^b	2,6 ^{ab}	0,18	$P < 0,05$
J35-42	4,9 ^{bc}	4,2 ^c	6,0 ^{ab}	6,5 ^a	0,37	$P < 0,05$
J42-49	3,3	3,9	3,8	3,9	0,32	NS
Cumulé j28-42	3,7 ^b	3,2 ^b	3,3 ^{ab}	3,7 ^a	0,19	$P < 0,05$
Cumulé j28-49	3,6	3,4	3,5	3,7	0,2	NS

a, b, c par ligne : entre traitements les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes

Par ailleurs, l'analyse statistique ne montre pas d'effet significatif de la supplémentation en électrolytes associée à la mise à jeun sur l'indice de conversion. Toutefois, les indices de conversions du lot CR est significativement plus élevé que celui enregistré chez le lot ER : +0,58 point ($P < 0,05$).

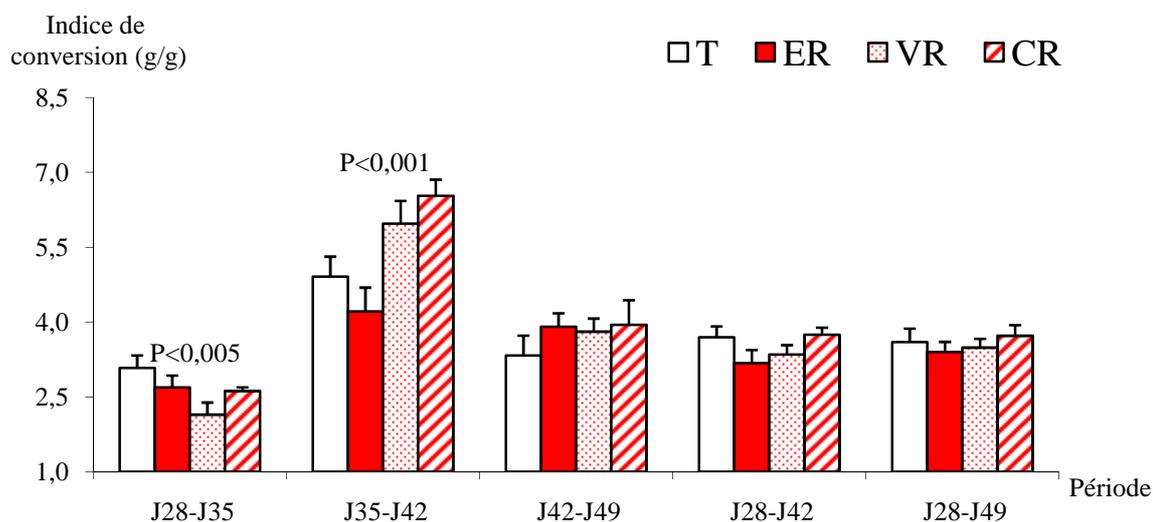


Figure 11: Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur l'évolution hebdomadaire et en périodes cumulées, de l'indice de conversion chez le poulet soumis au stress thermique chronique (moyennes \pm SE ; n=5).

1.2.3. Effet de l'addition des électrolytes, vinaigre et vitamine C dans l'eau de boisson associée avec le retrait de l'aliment sur la consommation d'eau et le ratio eau/aliment

Les valeurs de la consommation d'eau, de l'ingéré alimentaire et le ratio consommation d'eau/ consommation d'aliment/sujet /jour sont présentés dans le tableau 23 et les figures 12 et 13.

L'analyse statistique révèle un effet significatif de la supplémentation en électrolytes associée à la restriction diurne alimentaire sur la consommation hydrique de la période allant de J28 à J42 ($P < 0,01$). Ainsi, durant la période J28-J35, la consommation d'eau du lot ER est significativement plus faible ($P < 0,05$) que celle des lots témoins (-9%) et des lots VR et CR (-14% en moyenne). Entre J35 et J42, le lot CR consomme la plus faible quantité d'eau par rapport

aux trois autres lots : écart moyen de -23% (P<0,05). Enfin, durant la période J42-J49, l'apport d'additifs et la restriction alimentaire n'a pas d'effet significatif sur la consommation hydrique (P=0,137). Toutefois, la plus grande quantité d'eau consommée durant cette période est enregistrée chez le lot ER, alors que la plus faible est mesurée chez le lot CR.

Tableau 23 : Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur la consommation d'eau (ml/s/j), et le ratio eau/aliment (ml/g) chez le poulet soumis au stress thermique chronique (moyennes et SEM ; n=5, NS : non significative).

	Traitements expérimentaux				SEM	ANOVA (P)
	T	ER	VR	CR		
Consommation d'eau (ml/s/j)						
J28-35	262,5 ^a	237,8 ^b	284,8 ^a	270,4 ^a	7,3	P<0,05
J35-42	274,3 ^{ab}	303,8 ^a	277,7 ^a	245,2 ^b	9,3	P<0,05
J42-49	363,5 ^{ab}	377,1 ^a	350,7 ^{ab}	324,5 ^b	14,7	P<0,05
J28-42	268,4	270,8	281,3	257,8	7,5	NS
J28-49	300,1	306,2	304,4	280,0	9,8	NS
Ingéré Alimentaire (g/s/j)						
J28-35	118 ^a	107,3 ^{ab}	93,8 ^b	107,3 ^{ab}	5,2	P<0,05
J35-42	103,7 ^{bc}	94,6 ^c	122,4 ^a	109,1 ^{ab}	4,2	P<0,05
J42-49	128,2	141,4	143,6	128,8	5,9	NS
J28-42	110,8	101,0	108,1	108,2	3,5	NS
J28-49	116,6	114,5	119,9	115,1	3,3	NS
Ratio consommation eau/ ingéré alimentaire						
J28-35	2,23 ^b	2,22 ^b	3,25 ^a	2,53 ^b	0,17	P<0,01
J35-42	2,69 ^a	3,22 ^c	2,27 ^b	2,26 ^b	0,12	P<0,001
J42-49	2,85	2,69	2,45	2,57	0,17	NS
J28-42	2,44	2,68 ^a	2,62	2,39	0,09	NS
J28-49	2,58	2,68	2,55	2,45	0,11	NS

a, b, c par ligne : entre traitements les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes

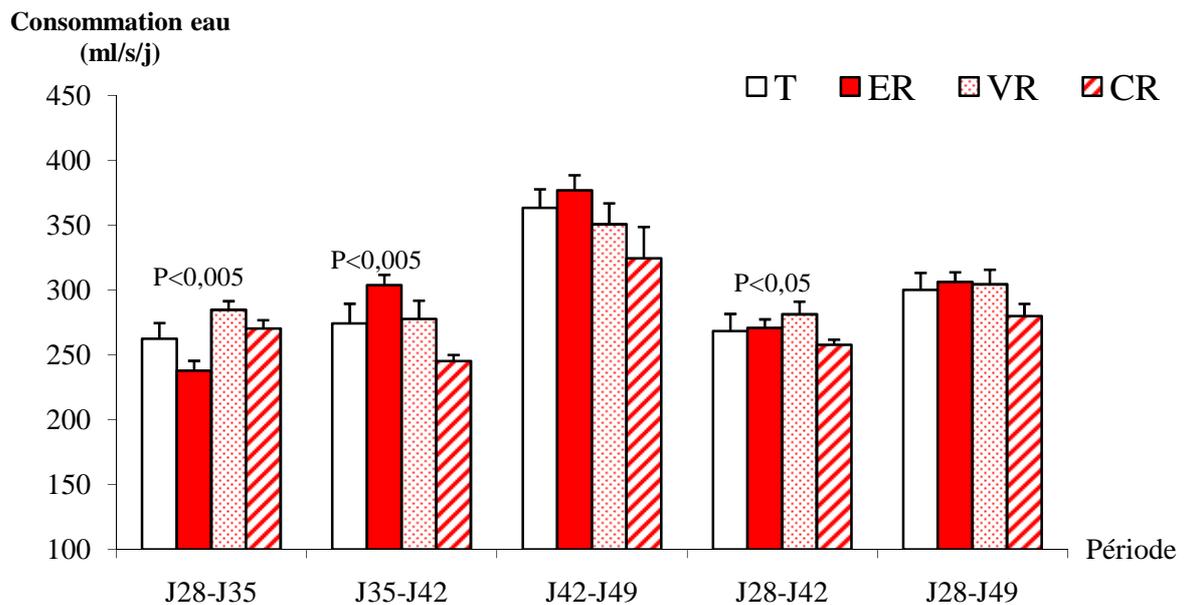


Figure 12 : Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur l'évolution hebdomadaire et en périodes cumulées de la consommation d'eau chez le poulet soumis au stress thermique chronique (moyennes \pm SE ; n=5).

Par ailleurs, l'ajout d'additifs associé à la mise à jeun a un effet significatif sur le ratio consommation eau/consommation aliment à la fois, durant la période allant de J28 à J35 ($P<0,05$) et celle entre J35 et J42 ($P<0,001$). Cet effet n'est plus significatif durant la période de finition (J42 à J J49; $P=0,46$).

Les poulets du lot VR présentent le ratio Consommation eau/consommation aliment (CE/CA) le plus élevé pendant la période J28-J35 : 3,25 contre 2,33 en moyenne entre les lots T, CR et ER. En revanche, lors de la période J35-J42, le ratio CE/CA le plus élevé est celui mesuré chez les poulets ER : 3,22 vs 2,26 (en moyenne entre VR et CR) et 2,69 chez le témoin.

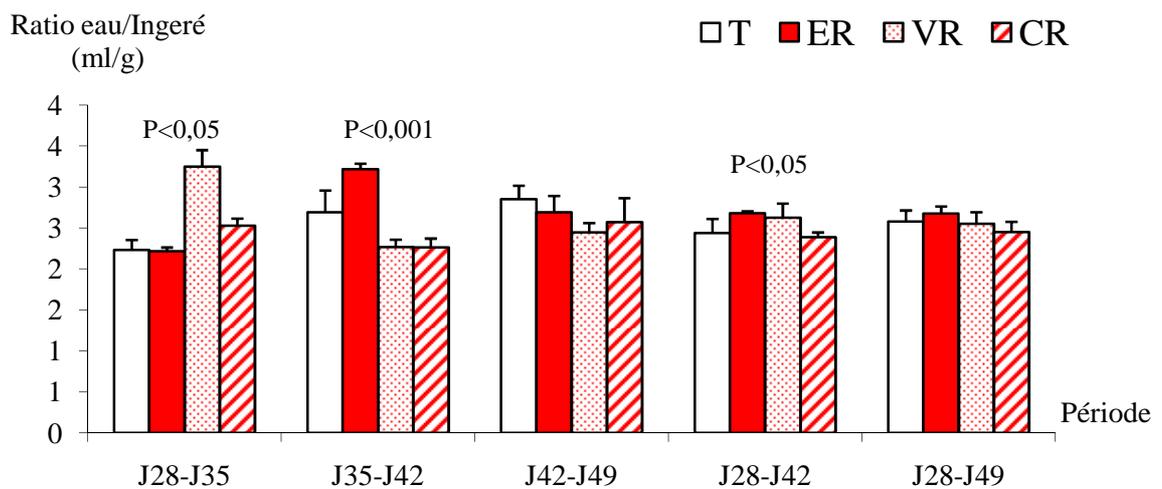


Figure 13 : Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur l'évolution hebdomadaire et en périodes cumulées du ratio consommation d'eau /consommation d'aliment (ml/g) chez le poulet soumis au stress thermique chronique (moyennes±SE ; n=5).

1.2.4. Effet de l'addition des électrolytes, vinaigre et vitamine C dans l'eau de boisson associer avec le retrait de l'aliment sur le rendement de carcasse

Le tableau 24 indique la comparaison de rendement de carcasse, graisse abdominale et les différents compartiments des abats: de 20 poulets de chaque lot (10 mâles et 10 femelles) soit 22% de l'effectif de départ de chaque traitement.

Le tableau 24 montre une similitude des résultats pour ce qui concerne le poids vif globale des animaux des différents traitements, par contre nous notons un poids vif plus faible chez les femelles comparant aux males (de -261g, $p < 0,001$)

Les rendements de carcasse des lots VR et T sont significativement supérieurs à celui du lot ER (de +1,43, $p = 0,031$ par rapport au lot VR et de +1,56, $p = 0,017$ par rapport au lot T), cependant une légère différence de rendement de carcasse est enregistrée entre les mâles et les femelles soit un rendement de carcasse pour les femelles de -0,57% ($p = 0,20$) par rapport aux mâles (Figure 14).

Tableau 24: Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur les caractéristiques de la carcasse du poulet soumis au stress thermique chronique (moyennes et SEM ; n=10 par traitement et par sexe ; NS : Non significative).

Paramètres	Traitements expérimentaux				SEM	ANOVA (p)
	T	ER	VR	CR		
Poids vif (PV)(g)	1727,5	1741,9	1752,9	1721,7	44,6	NS
Poids vif males(g)	1873	1874,2	1874,5	1853,6	51,1	NS
Poids vif femelles (PV) (g)	1596,6	1609,7	1631,3	1589,9	40,9	NS
Carcasse PAC(g)	1198,5	1185,9	1218,6	1181,1	33,8	NS
Carcasse PAC males(g)	1297,2	1292,6	1297,9	1282,2	38,5	NS
Carcasse PAC femelles(g)	1109,6	1079,1	1139,3	1080	31,6	NS
Carcasse PAC/PV(%)	69,39 ^a	67,96 ^b	69,53 ^a	68,53 ^{ab}	0,45	P=0,05
Carcasse PAC males/PV(%)	69,25	68,92	69,22	69,17	0,55	NS
Carcasse PAC femelles/PV(%)	69,53 ^a	67,01 ^b	69,83 ^a	67,89 ^{ab}	0,68	P<0,05
Poids du gras abdominal/PV(%)	2,26 ^a	2,18 ^{ab}	1,9 ^b	1,93 ^b	0,10	P<0,05
Poids du gras abdominal males/PV(%)	1,96	1,91	1,92	1,88	0,13	NS
Poids du gras abdominal femelles/PV(%)	2,52 ^a	2,46 ^a	1,89 ^b	2 ^b	0,13	P<0,05
Poids global du foie/PV(%)	1,72	1,74	1,62	1,69	0,05	NS
Poids du foie males/PV(%)	1,78	1,61	1,66	1,55	0,08	NS
Poids du foie femelles/PV(%)	1,67 ^{bc}	1,88 ^a	1,59 ^c	1,83 ^{bc}	0,07	P<0,05
poids global du gésier/PV(%)	1,53	1,56	1,59	1,58	0,06	NS
poids du gésier males/PV(%)	1,45 ^b	1,61 ^a	1,57 ^{ab}	1,46 ^{ab}	0,07	P<0,05
poids du gésier femelles/PV(%)	1,6 ^{ab}	1,5 ^b	1,6 ^{ab}	1,7 ^a	0,02	P<0,05
Poids global du cœur/PV(%)	0,37 ^b	0,41 ^b	0,38 ^{ab}	0,38 ^{ab}	0,01	P<0,05
Poids du cœur males/PV(%)	0,37	0,43	0,39	0,39	0,05	NS
Poids du cœur femelles/PV(%)	0,37	0,40	0,37	0,38	0,02	NS

a, b, c par ligne : entre traitements les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes, PAC : prête a cuire, PV : Poids vif.

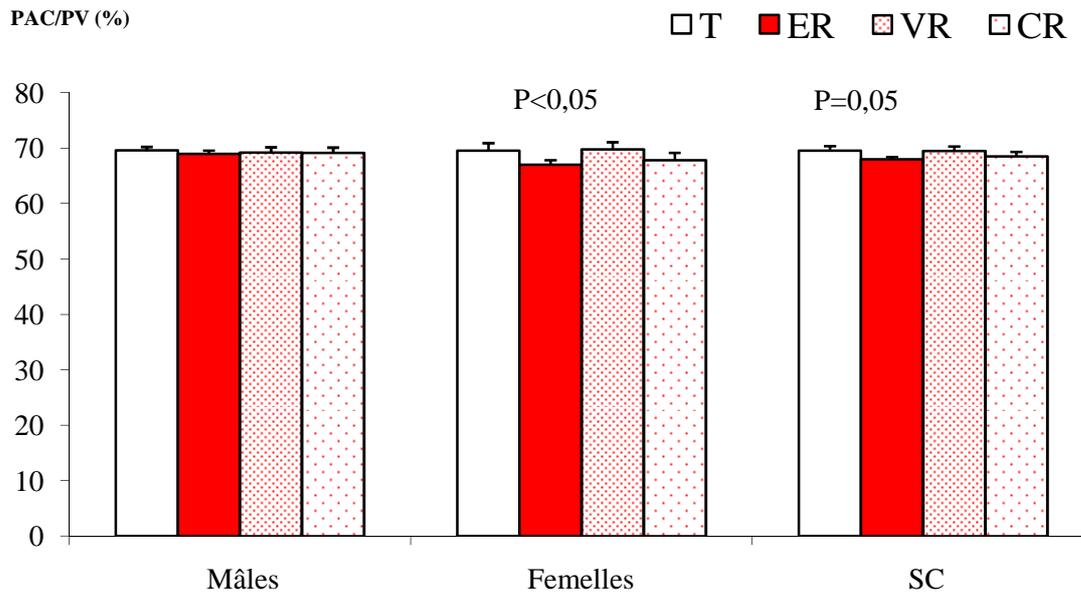


Figure 14: Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur le rendement de carcasse du poulet soumis au stress thermique chronique (moyennes \pm SE ; n=10 par traitement et par sexe ; SC : sexes confondus).

En ce qui concerne le gras abdominal, les poulets du groupe témoin ont un taux élevé par rapport aux taux des groupes CR (+0,32%, $p=0,018$) et VR (+0,35 ; $p=0,01$), le taux du gras abdominal des poulets du lot ER est nettement supérieur à celui du groupe VR, nous notons un taux du gras abdominal augmenté chez les femelles que chez les mâles (+0,31 ; $p=0,001$)(Figure 15).

Pour le reste des compartiments des abats, nous pouvons déduire que les variations les taux ne sont nullement significatives entre les lots ni entre sexe

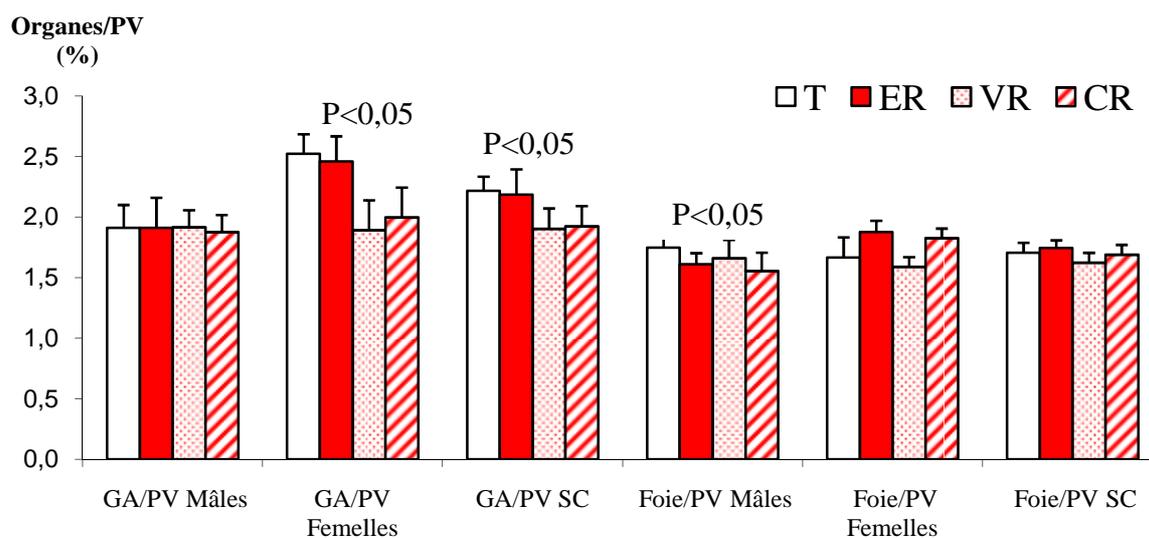


Figure 15: Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur les proportions du gras abdominal et du foie du poulet soumis au stress thermique chronique (moyennes \pm SE ; n=10 par traitement et par sexe; SC : sexes confondus).

1.2.5. Effet de l'addition des électrolytes, vinaigre et vitamine C dans l'eau de boisson associée à la restriction de l'aliment sur la température interne des poulets

Le tableau 25 montre l'effet de l'addition des électrolytes, vinaigre et vitamine C dans l'eau de boisson associée à la restriction de l'aliment sur la température interne des poulets. L'analyse statistique indique un effet significatif lié au traitement seulement aux âges de 33 et 44 jours. En effet, à l'âge de 33 jours, les poulets des lots ER et VR montrent une diminution moyenne significative de la température corporelle de 0,5°C ($p < 0,05$). Par ailleurs, la température corporelle des poulets traités au vinaigre diminue de 0,3°C par rapport aux poulets du lot témoin.

Tableau 25 : Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur l'évolution hebdomadaire de la température rectale selon l'état nutritionnel et le sexe du poulet soumis au stress thermique chronique (moyennes et SEM ; n = 5 poulets par traitement, par sexe et par état nutritionnel).

Température rectale (°C)	Traitements expérimentaux					SEM
	Age	T	ER	VR	CR	
Mâles nourris	J33	43,8	42,6	43,4	43,2	0,31
	J44	43,5	43,4	43,4	43,2	0,24
	J50	44,1	43,9	43,9	43,9	0,15
Mâle à jeun	J33	42,2	42,6	42,6	42,6	0,20
	J44	42,8	42,4	42,9	43,7	0,18
	J50	43,3	43,4	43,5	43,8	0,22
Femelles Nourries	J33	43,7	42,8	42,9	43,4	0,26
	J44	43,5	43,4	42,8	43,6	0,21
	J50	44,3	43,8	44,0	43,7	0,20
Femelles à jeun	J33	43,2	42,5	42,5	42,7	0,22
	J43	43,0	42,9	42,6	43,3	0,23
	J50	43,4	43,7	43,9	43,8	0,26

Analyse statistique

	Traitement	Sexe	Etat nutritionnel	Interaction
Température rectale (°C)				
J35	*	NS	***	
J42	*	NS	**	Trait. X Etat nut. (p=0,07)
J50	NS	NS	**	Trait. X Etat nut. (p=0,05)

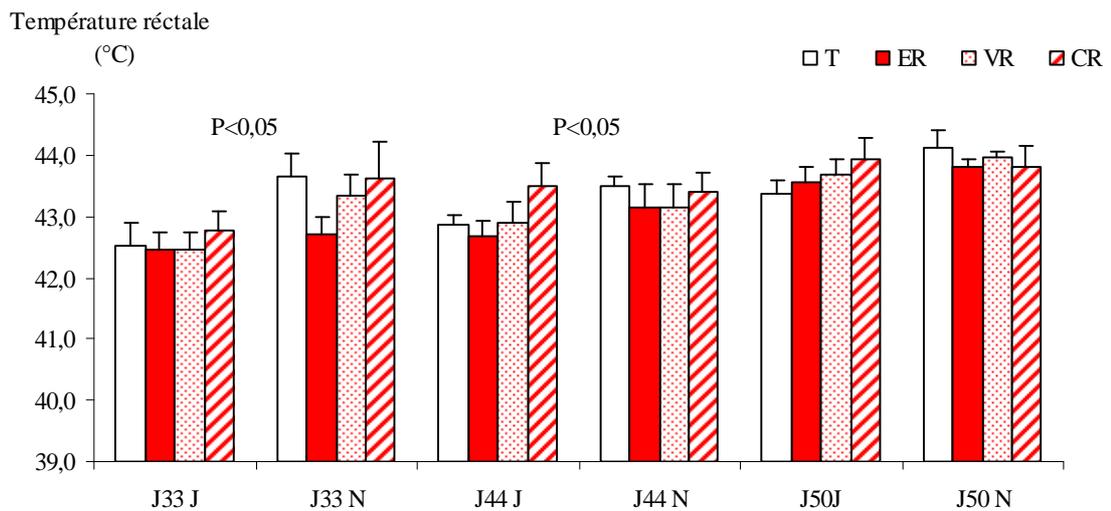


Figure 16 : Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur l'évolution de la température rectale selon l'état nutritionnel chez le poulet soumis au stress thermique chronique (moyennes±SE ; n=10 par traitement et par état nutritionnel).

1.2.6. Effet de l'addition des électrolytes, vinaigre et vitamine C dans l'eau de boisson associée à la restriction alimentaire sur le taux de mortalité

Le nombre de mortalité enregistré durant l'expérimentation et le taux de mortalité pendant toute la partie expérimentale sont mentionnés dans le Tableau 26 et illustrés par la figure 17

Tableau 26: Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur la mortalité chez le poulet soumis au stress thermique chronique (moyenne; n=5).

	Traitements expérimentaux			
	T	ER	VR	CR
J28-35	0,9%	0,0%	0,5%	0,9%
J35-42	1,9%	1,4%	2,7%	3,2%
J42-49	1,4%	3,2%	1,8%	5,8%
J28-42	2,9%	1,5%	3,2%	4,4%
J28-49	4,3%	4,7%	5,0%	10,2%

La figure 18 montre que durant la première et la deuxième semaine le groupe ER a le taux le plus faible de la mortalité puis groupe VR et T, mais ce taux s'élève dans la troisième semaine, tandis que le groupe CR a un taux de mortalité trop élevé durant toutes les semaines

de traitement surtout dans la troisième semaine où le groupe CR a un taux de mortalité significativement élevé par rapport aux autres groupes, puis le groupe ER, et en fin les groupes T et VR. Les taux de mortalité relevés durant la phase croissance expérimentale entre J28-J35 révèlent que le taux de mortalité du groupe ER est significativement inférieur à celui des autres groupes, cependant le taux de mortalité du lot CR est nettement élevé par rapport aux autres groupes durant cette période comparé à la mortalité de la phase finition : les taux de mortalité du groupe ER augmentent significativement soit ce taux est supérieur à celui du groupe T et VR, tandis que le taux de mortalité du groupe CR garde la même évolution ayant le taux le plus élevé comparé aux autres groupes dans toute l'expérimentation, le cumul des taux de mortalité enregistré à J49 montre que le taux de mortalité du groupe CR est deux fois le taux de mortalité des groupes T, ER, et VR.

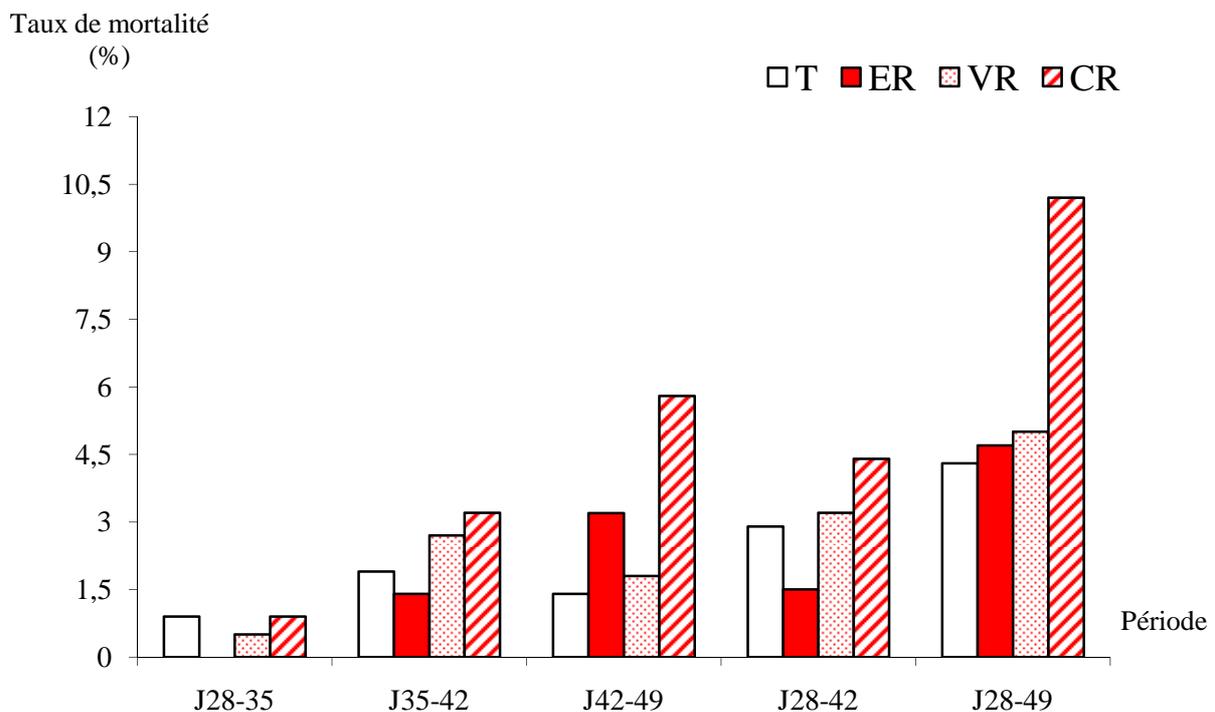


Figure 17 : Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur la mortalité chez le poulet soumis au stress thermique chronique (moyennes; n=5).

I.3. Les paramètres sanguins

I.3.1. Effet de l'addition des électrolytes, vinaigre et vitamine C dans l'eau de boisson associée à la restriction alimentaire sur le taux d'hématocrite et d'hémoglobine

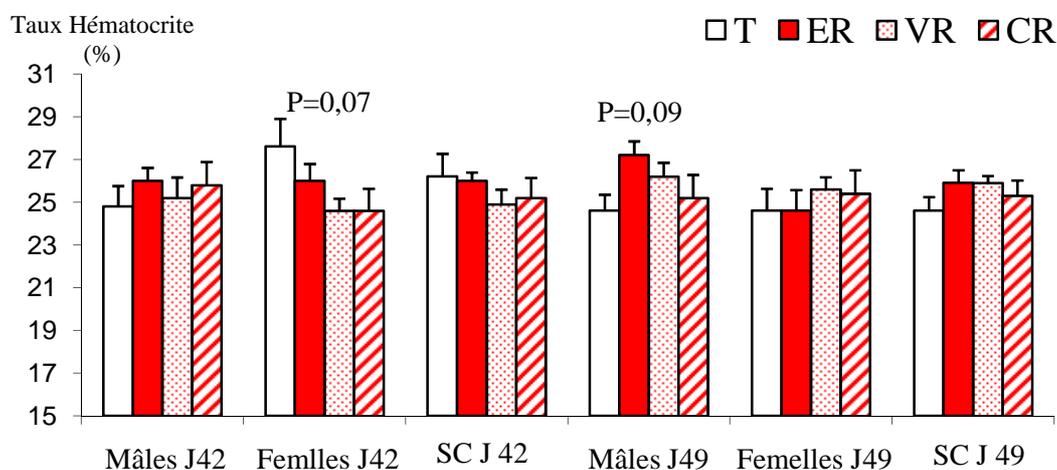
Les résultats relatifs aux taux d'hématocrite et d'hémoglobine pour les poulets des lots traités et témoins, mesurés à j 42 et j49 sont représentés dans le tableau 27 et la figure 18.

Tableau 27 : Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur le taux d'hématocrite (%) et d'hémoglobine (g/dl) chez le poulet soumis au stress thermique chronique (moyennes, SEM ; n=5 poulets par traitement et par sexe, NS : non significative ; SC : sexes confondus).

Paramètres	Traitements expérimentaux				SEM	ANOVA (P)	
	T	ER	VR	CR			
Hématocrite (%)							
J42	SC	26,2	26	24,9	25,2	0,70	NS
	Mâles	24,8	26	25,2	25,8	0,81	NS
	Femelles	27,6 ^a	26 ^{ab}	24,6 ^b	24,6 ^b	0,83	P<0,05
J49	SC	24,6	25,9	25,9	25,3	0,51	NS
	Mâles	24,6 ^a	27,2 ^b	26,2 ^{ab}	25,2 ^{ab}	0,70	P=0,05
	Femelles	24,6	24,6	25,6	25,4	0,79	NS
Hémoglobine (g/dl)							
J42	SC	7,9 ^a	7,8 ^{ab}	6,99 ^b	7,72 ^{ab}	0,27	P<0,05
	Mâles	7,2	7,94	7,65	7,87	0,29	NS
	Femelles	8,5 ^a	7,65 ^a	6,32 ^b	7,57 ^a	0,42	P<0,05
J49	SC	7,2	7,82	7,9	7,31	0,35	NS
	Mâles	7,3 ^{bc}	8,68 ^a	9,05 ^a	7,02 ^c	0,35	P<0,05
	Femelles	7,1	6,96	6,76	7,6	0,45	NS

a, b, c par ligne : entre traitements les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes

(a)



(b)

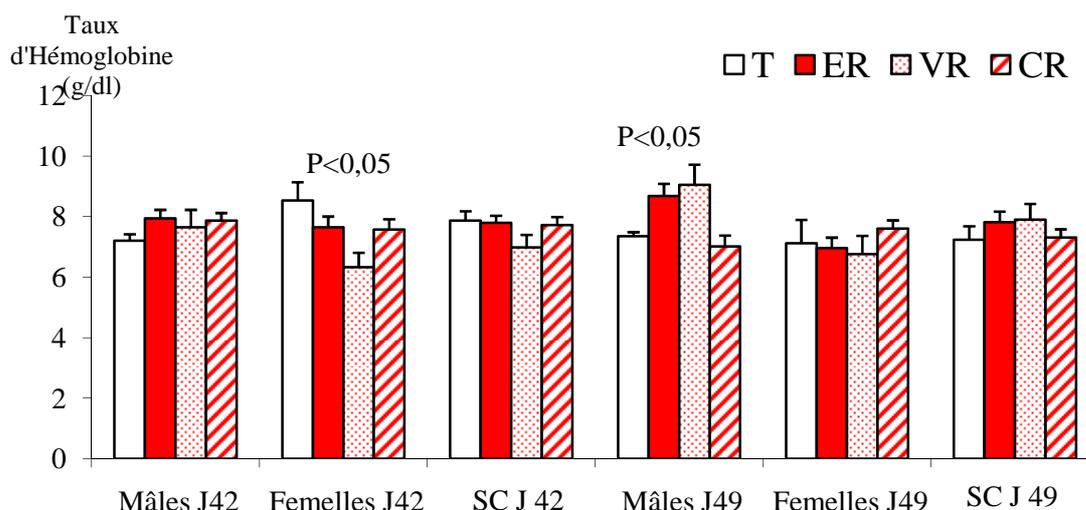


Figure 18 : Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur le taux d'Hématocrite (%) (a) et le taux d'Hémoglobine (g/dl) (b) selon le sexe et l'âge du poulet soumis au stress thermique chronique (moyennes±SE ; n=5 poulets par traitement et par sexe. SC: Sexes confondus).

Globalement, quelque soit l'âge des poulets, le taux d'hématocrite n'est pas significativement modifié par l'ajout d'additifs dans l'eau de boisson et la restriction alimentaire. Notons, toutefois, qu'à l'âge de 42j, les femelles des lots VR et CR présentent des taux d'hématocrites significativement inférieures à celles des poulets femelles témoins (-11%,

P<0,05). A 49j, le taux d'hématocrite des mâles du lot ER est significativement supérieur à celui des mâles du lot témoin: +11%, P<0,05).

Concernant les taux d'hémoglobine, il n'y a pas d'effet significatif des différents traitements (P>0,05) et ce quelque soit l'âge. Toutefois, à l'âge de 42jours, les poulets du lot VR ont un taux d'hémoglobine significativement plus bas que celui des témoins : -11% (P<0,05). Cette baisse d'hémoglobinémie est liée aux plus faibles teneurs d'hémoglobine mesurées chez les femelles : -26% par rapport aux femelles témoins (P<0,05). A l'âge de 49 jours, les mâles des lots VR et ER présentent des teneurs en hémoglobine significativement supérieures à celle des mâles des lots T et CR (+20% en moyenne). En revanche, les mâles du lot CR ont les teneurs en hémoglobine les plus faibles (P<0,05).

1.3.2. Effet de l'addition des électrolytes, vinaigre et vitamine C dans l'eau de boisson associée avec le retrait de l'aliment sur l'équilibre leucocytaire et apport H/L (hétérophiles / lymphocytes):

Le nombre de leucocytes, monocytes, lymphocytes (L) et hétérophiles (H) ainsi que rapport H/L, mesurés à 42 et 49 jours d'âge chez les poulets mâles et femelles des différents lots, sont représentés dans le tableau 28 et les figures 19, 20 et 21.

La supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire n'a pas modifié significativement le nombre de globules blancs et le pourcentage de monocytes des poulets par rapport à ceux des poulets témoins, et ce quelque soit l'âge considéré. Néanmoins, le pourcentage de monocytes chez les poulets du lot ER est plus faible par rapport aux témoins à la fois chez les mâles et les femelles (P<0,05).

Tableau 28 : Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur les cellules immunitaires et le rapport H/L selon le sexe et l'âge du poulet soumis au stress thermique chronique (moyennes et SEM ; n=5 par traitement et par sexe pour chaque âge , NS : Non significative ; SC : sexes confondus).

		Traitements expérimentaux				SEM	ANOVA (p)
		T	ER	VR	CR		
Globules blancs ($10^4 \mu\text{l}$)							
à j42	Mâles	200,5	217,6	200,8	192,4	9,49	NS
	Femelles	186,8	185,4	192	194	8,33	NS
à J49	Mâles	126,4 ^b	161,4 ^a	158,8 ^a	147,2 ^{ab}	10,69	P<0,05
	Femelles	123,2 ^b	159 ^a	150,4 ^{ab}	138,6 ^{ab}	9,81	P<0,05
Monocytes (%)							
à j42	Mâles	10,2	9,4	10,8	10,6	0,65	NS
	Femelles	10,4	9,6	9,4	10,4	0,66	NS
à J49	Mâles	10,6 ^a	8,4 ^b	9,6 ^{ab}	9,6 ^{ab}	0,59	P<0,05
	Femelles	11,2 ^a	9 ^b	8,8 ^b	10,2 ^{ab}	0,53	P<0,05
Lymphocytes (%)							
à j42	Mâles	57,8 ^{bc}	62,2 ^a	59,8 ^{ab}	56,4 ^c	1,13	P<0,05
	Femelles	56,8 ^c	62,4 ^a	60,8 ^a	57,2 ^{bc}	0,87	P<0,005
à J49	Mâles	56,2 ^c	63,6 ^a	60,8 ^b	55,8 ^c	0,88	P<0,0001
	Femelles	52,2 ^b	61,2 ^a	61,4 ^a	54,8 ^b	0,97	P<0,0001
Hétérophiles (%)							
à j42	Mâles	27,8 ^{abc}	25,8 ^{bc}	25,4 ^c	28,6 ^a	0,83	P<0,05
	Femelles	30,4 ^a	24,8 ^b	25 ^b	29,6 ^a	0,75	P<0,0001
à J49	Mâles	28,4 ^a	26,6 ^b	26,6 ^b	29,6 ^a	0,53	P<0,05
	Femelles	29,4 ^a	27,8 ^b	27,6 ^b	29,8 ^a	0,42	P<0,05
Rapport H/L							
à j42	SC	0,51 ^a	0,41 ^b	0,42 ^b	0,51 ^a	0,02	P<0,0001
	Mâles	0,48 ^{ab}	0,42 ^b	0,43 ^b	0,48 ^a	0,02	P<0,05
	Femelles	0,54 ^a	0,4 ^b	0,41 ^b	0,52 ^a	0,02	P<0,0001
à J49	SC	0,54 ^a	0,44 ^b	0,44 ^b	0,54 ^a	0,01	P<0,0001
	Mâles	0,51 ^a	0,42 ^b	0,44 ^b	0,53 ^a	0,02	P<0,001
	Femelles	0,56 ^a	0,45 ^b	0,45 ^b	0,55 ^a	0,02	P<0,0001

a, b, c par ligne : entre traitements les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes

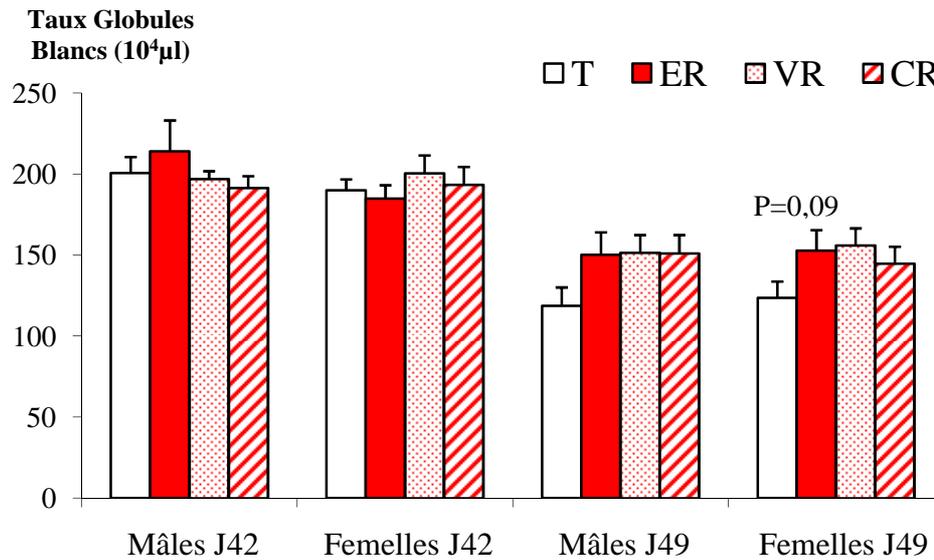


Figure 19 : Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur le taux des globules blancs selon le sexe et l'âge du poulet soumis au stress thermique chronique (moyennes \pm SE ; n=5 par traitement et par sexe pour chaque âge).

En revanche, l'impact de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire a significativement modifié le pourcentage de lymphocytes des poulets. Ce dernier est plus élevé chez les poulets du lot ER et VR comparés aux témoins et ce quelque soit l'âge ou le sexe considéré.

Les pourcentages en hétérophiles sont aussi significativement réduits chez les poulets du lot ER et VR comparés aux témoins, quelque soit l'âge ou le sexe des poulets.

De ce fait, le ratio H/L est fortement diminué ($P < 0,05$) chez le lot VR et ER comparativement aux témoins et ce à la fois chez les mâles et les femelles, à 42 et à 49 jours d'âge.

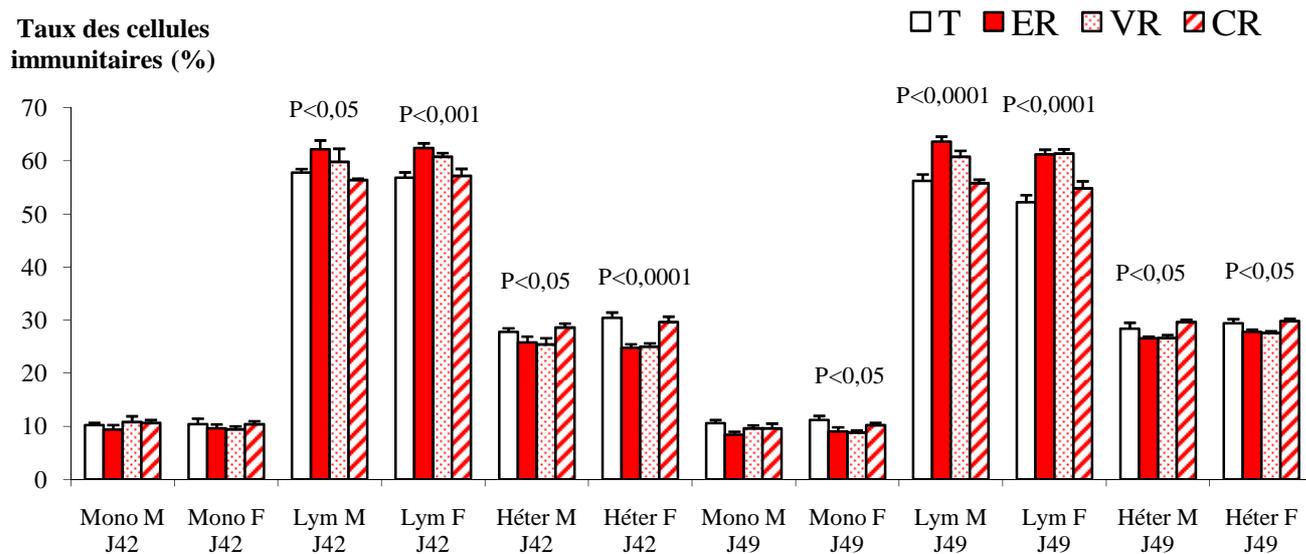


Figure 20: Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur les taux des monocytes, des lymphocytes et des hétérophiles selon le sexe et l'âge du poulet soumis au stress thermique chronique (moyennes±SE ; n=5 par traitement et par sexe pour chaque âge).

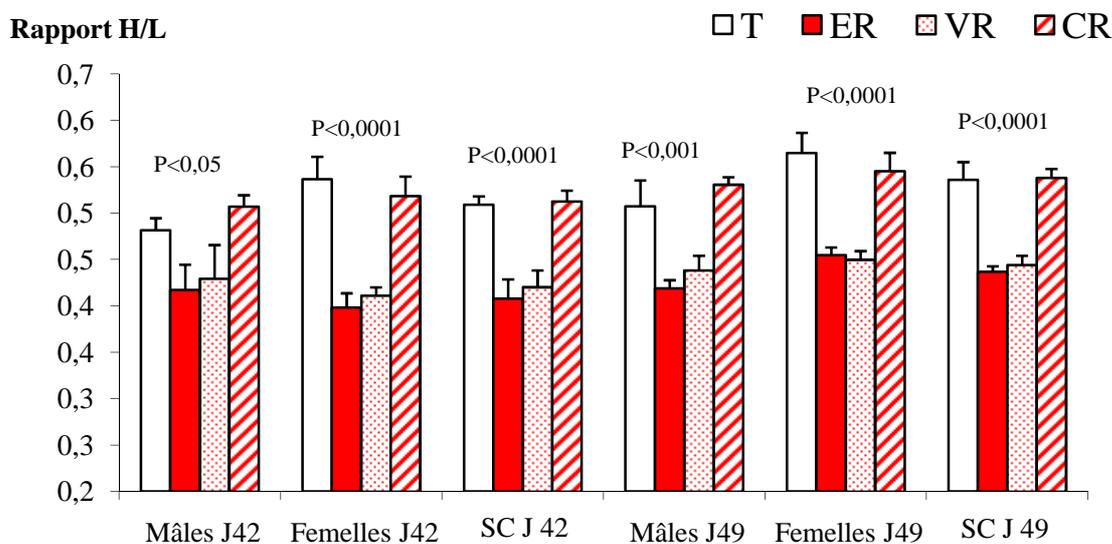


Figure 21: Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur le rapport H/L selon le sexe et l'âge du poulet soumis au stress thermique chronique (moyennes±SE ; n=5 par traitement et par sexe pour chaque âge ; SC : Sexes confondus).

I.3.3. Effet de l'addition des électrolytes, vinaigre et vitamine C dans l'eau de boisson associée avec le retrait de l'aliment sur l'équilibre électrolytique :

Les résultats concernant les taux plasmatiques de potassium et de sodium des poulets traités et témoins, mesurés à j 42 et j49 sont représentés dans le tableau 29 et la figure 22.

Notons que les différents traitements utilisés n'induisent pas de modification significative du taux sanguin de K⁺ chez les poulets âgés de 42j, contrairement à l'âge de 49j où une nette augmentation est obtenue chez les poulets traités aux électrolytes : 5,71vs 5,49 (mmol/l) pour le lot T (p<0,05). Concernant le taux sanguin de Na⁺, les poulets traités ne présentent aucune amélioration significative de ce paramètre comparativement aux poulets témoins et ce quelque soit l'âge considéré. Notons, de plus, qu'une diminution significative du taux de Na⁺ est relevée chez les poulets âgés de 42j et traités aux électrolytes et au vinaigre.

Tableau 29 : Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur le taux du K⁺ et du Na⁺ plasmatiques selon le sexe et l'âge du le poulet soumis au stress thermique chronique (moyennes et SEM ; n=5 par traitement et par sexe pour chaque âge, NS : non significative).

Paramètres	Traitements expérimentaux				SEM	ANOVA (p)	
	T	ER	VR	CR			
Taux K⁺ (mmol/l)							
j42	Sexes confondus	5,67	5,58	5,44	5,48	0,30	NS
	Mâles	5,66	5,42	5,52	5,54	1,67	NS
	Femelles	5,68	5,64	5,36	5,42	0,33	NS
J49	Sexes confondus	5,49 ^{ab}	5,71 ^a	5,47 ^b	5,55 ^{ab}	0,25	P<0,05
	Mâles	5,52	5,70	5,54	5,60	0,27	NS
	Femelles	5,46	5,72	5,40	5,50	0,23	NS
Taux Na⁺ (mmol/l)							
j42	Sexes confondus	145,1 ^a	140,6 ^b	141,7 ^b	145,3 ^a	2,99	P<0,05
	Mâles	145,8	140,4	140	146,6	2,09	NS
	Femelles	144,4	140,8	143,4	144	3,46	NS
J49	Sexes confondus	145,8	145,9	145,1	146,2	3,00	NS
	Mâles	145,4	145,6	144,8	144,4	2,90	NS
	Femelles	146,2	146,2	145,4	148	2,95	NS

a, b, par ligne : entre traitements les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différente

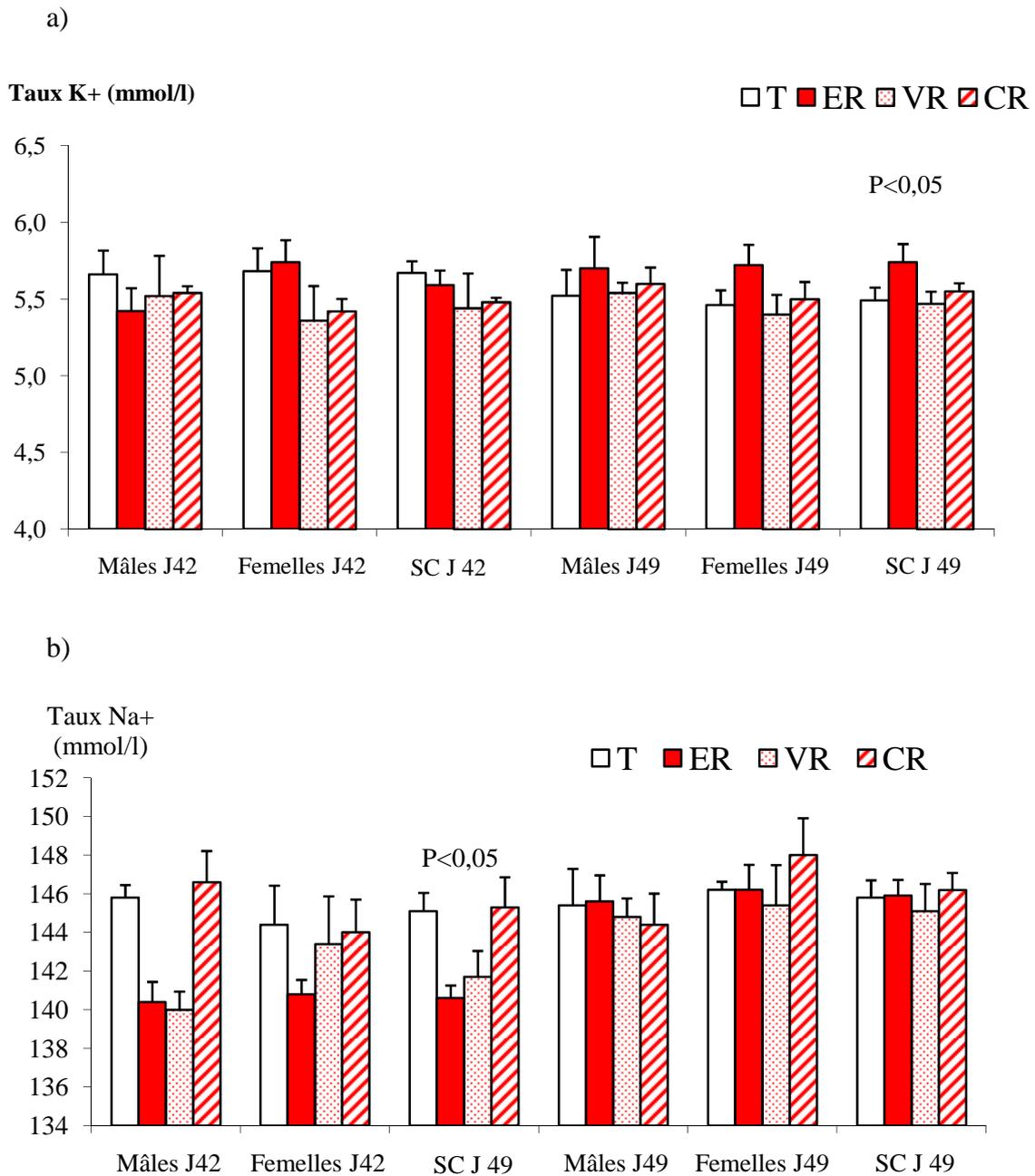


Figure 22 : Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur le taux du K⁺ (a) et du Na⁺ (b) plasmatiques selon le sexe et l'âge du poulet soumis au stress thermique chronique (moyennes±SE ; n=5 par traitement et par sexe pour chaque âge. SC : Sexes confondus).

II. Stress thermique aigu

II.1. Paramètres d'ambiance

Au cours du stress thermique aigu provoqué, les poulets sont exposés à une température ambiante de 37°C durant de 3 heures (entre 12 et 15 heures). Le tableau 30 et 31 montrent que la température moyenne de la journée est de 34°C et une hygrométrie de 79%.

Tableau 30: Température ambiante (Ta) et aire de vie (Tav) et humidité relative (HR) enregistrées lors de la journée du stress thermique aigu.

Période	Ta	T av	HR%	Min Ta	Max Ta	Min T av	Max T av	Min RH%	Max RH%
Jour ST aigu (j52)	33,7 ±0,08	34,3 ±0,4	79,3 ±10,3	27,6	37,2	27,3	37,6	70,6	91

-Ta: température ambiante

- HR: humidité relative

- Min: valeur minimale

-T av: température aire de vie

- ST: stress thermique

- Max: valeur maximale

Tableau 31: Evolution de la température (ambiante et aire de vie) et de l'humidité relative au cours de la journée du stress thermique aigu.

	8h	10h	12h	14h	16h
Température ambiante (°C)	27,6±0,5	32±0,01	34,9±0,2	37,2±0,3	37±0,01
Température aire de vie (°C)	27,3±0,8	33,1±0,7	36,1±0,7	37,6±0,5	37,7±0,9
Hygrométrie(%)	90	91	74	70,6	71

II.2 Performances zootechniques

II.2.1. Effet de l'addition des électrolytes, vinaigre et vitamine C dans l'eau de boisson associée à la restriction alimentaire sur les consommations d'aliment et d'eau

Les consommations d'aliment et d'eau par sujet durant la journée du stress thermique aigu sont présentées dans le tableau 32 et illustrées dans les figures 23 et 24. Ainsi, la plus

faible consommation d'aliment est enregistrée chez les poulets du groupe CR. Cette dernière est significativement diminuée par rapport à celle des autres lots (-38% par rapport au témoin, et -34,5% en moyenne par rapport aux lots VR et ER; $P > 0,05$). Par ailleurs, l'effet des traitements n'est pas significatif sur la consommation d'eau des poulets enregistrée durant laquelle journée où le stress thermique a été appliqué. Toutefois, notons une diminution de la consommation de l'eau (-9,2% en moyenne) chez les poulets traités à la vitamine C et au vinaigre comparativement aux poulets témoins.

Tableau 32 : Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur la consommation d'aliment, la consommation d'eau et le ratio consommation en eau/consommation d'aliment du poulet soumis au stress aigu (moyennes et SEM ; n=5, NS : non significative).

	Traitements expérimentaux				SEM	ANOVA (p)
	T	ER	VR	CR		
Consommation aliment (g/sujet/j)	81,27 ^a	78,01 ^a	75,72 ^a	50,35 ^b	7,17	$P < 0,05$
Consommation d'eau (ml/sujet/j)	361,7	372,1	328,2	328,5	23,97	NS
Ratio Eau/Alt(ml/g)	4,59 ^b	4,84 ^b	4,47 ^b	6,68 ^a	0,41	$p < 0,01$

a, b, par ligne : entre traitements les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes

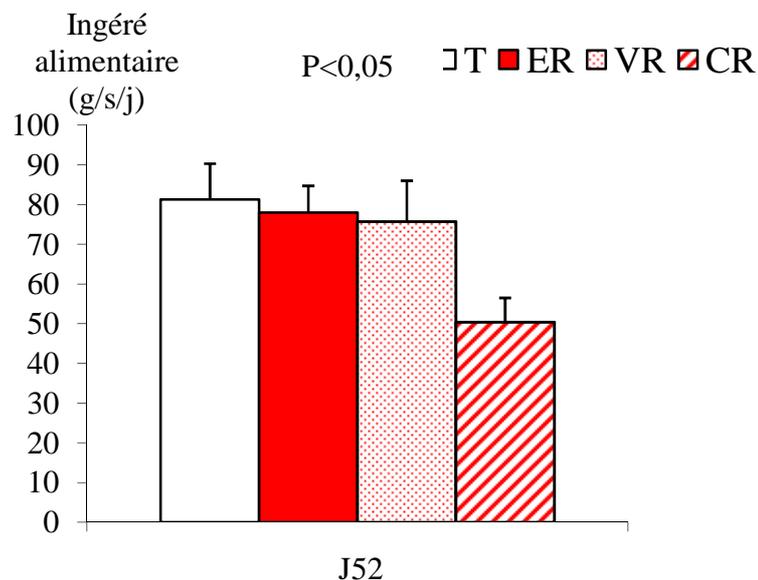


Figure 23 : Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur la consommation d'aliment du poulet soumis à un stress thermique aigu à J52 (moyennes±SE ; n=5).

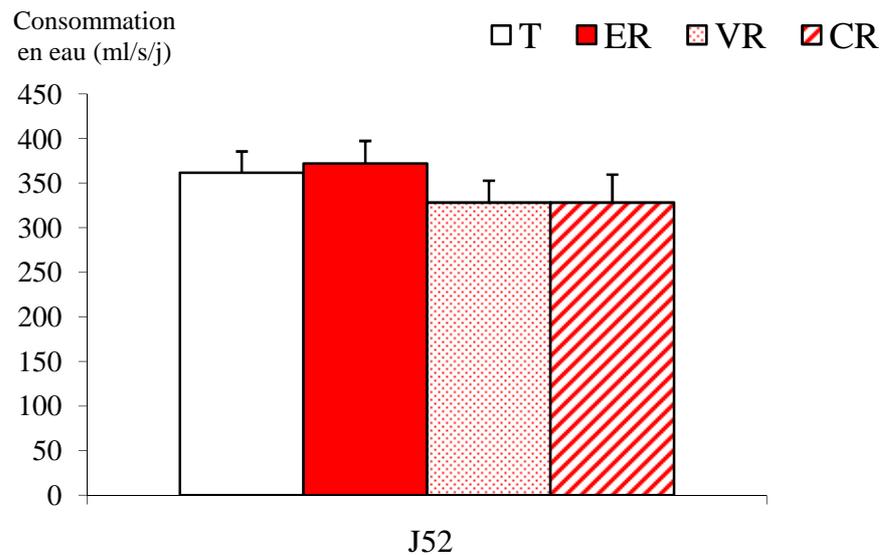


Figure 24 : Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur la consommation d'eau du poulet soumis au stress aigu (moyenne±SEM ; n=5).

A l'issue des résultats précédents, le ratio eau /aliment se trouve significativement augmenté chez les poulets du lot CR (6,68 vs 4,59 pour le lot T et 4,65 en moyenne pour les lots ER et VR ; $p < 0,05$)

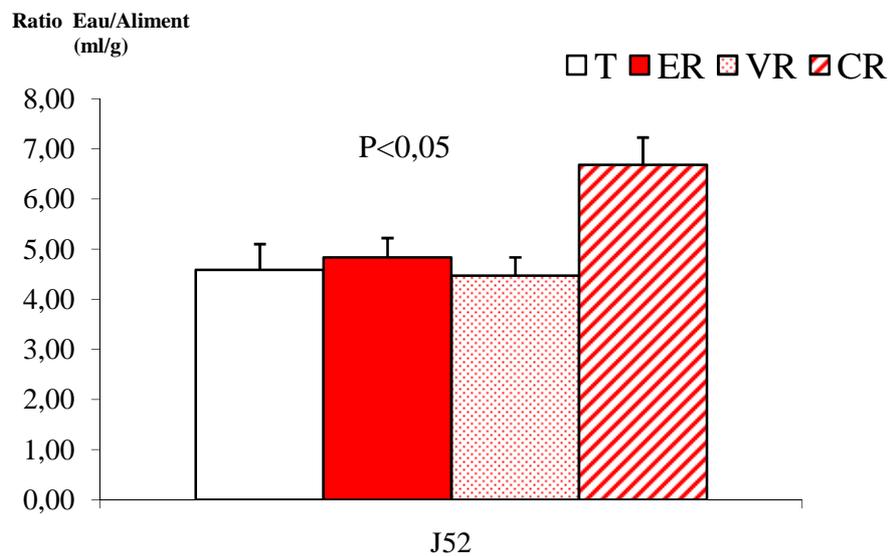


Figure 25: Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur le ratio consommation en eau/consommation d'aliment du poulet soumis au stress aigu (moyennes ±SE ; n=5).

II.2.2. Effet de l'addition des électrolytes, du vinaigre et de la vitamine C dans l'eau de boisson associée au retrait de l'aliment sur la température rectale

Au cours du stress thermique aigu, la température rectale a été relevée sur des poulets mâles à l'état nourris. Il en ressort que les différents traitements appliqués n'ont pas d'effet significatif sur la température rectale, bien qu'une diminution moyenne de 0,35°C est notée chez les poulets des lots VR et CR comparée aux lot T.

Tableau 33: Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur la température rectale des mâles à l'état nourri, soumis au stress aigu (moyennes et SEM ; n=5, NS : non significatives).

	Traitements expérimentaux				SEM	ANOVA (p)
	T	ER	VR	CR		
Température rectale des Males nourris (°C)	45,25	45,13	44,99	44,9	0,19	NS

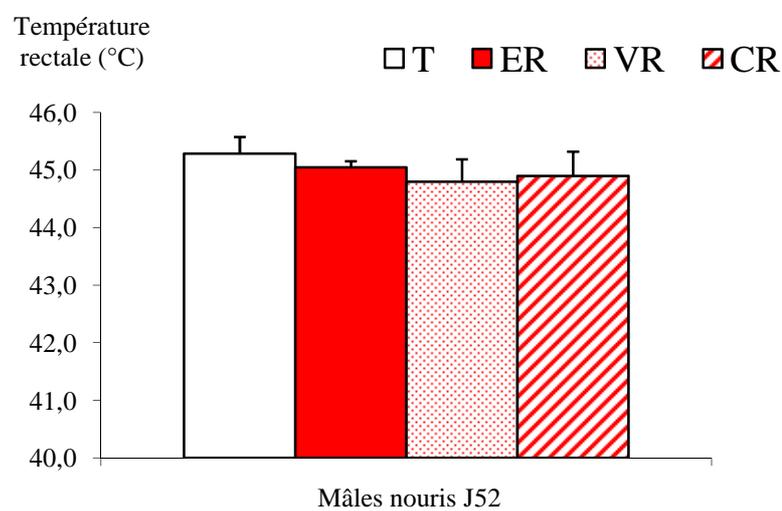


Figure 26 : Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur la température rectale des mâles nourris enregistré lors de la journée du stress aigu (moyennes ±SE ; n=5).

II.2.3. Effet de l'addition des électrolytes, vinaigre et vitamine C dans l'eau de boisson associée au retrait de l'aliment sur le taux de mortalité

Les taux de mortalité des différents groupes lors du stress thermique aigu sont présentés dans le tableau 34 et illustrés dans la figure 27. Il est à souligner que les traitements utilisés ont permis une réduction appréciable de la mortalité de l'ordre de 50% en moyenne par rapport au lot des poulets témoins.

Tableau 34 : Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur le taux de mortalité enregistré lors de la journée du stress aigu (moyennes; n=5).

Traitements expérimentaux				
	T	ER	VR	CR
Taux de mortalité (%)	18,8	9,6	8,8	8,6

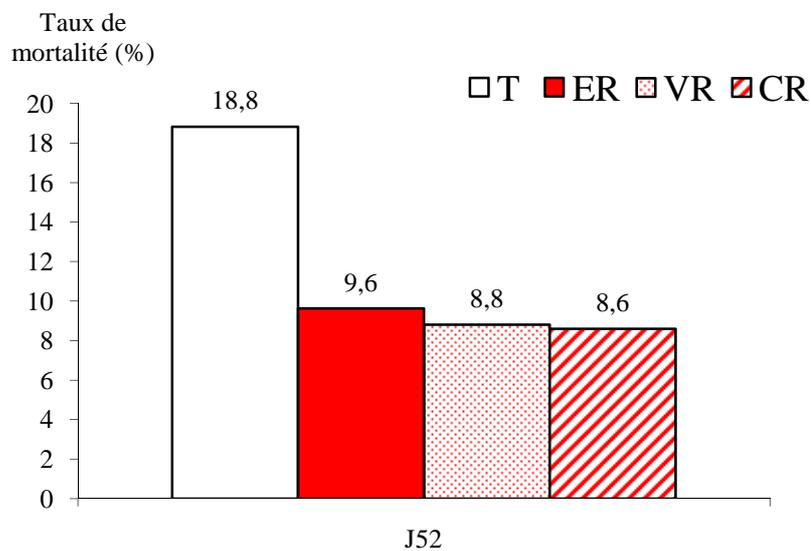


Figure 27 : Effet de la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire sur le taux de mortalité enregistré lors de la journée du stress aigu (moyennes ; n=5).

Discussion Générale

Notre objectif dans cet essai était d'évaluer l'intérêt de l'utilisation de quelques additifs (électrolytes, vitamine C et acide acétique) dans l'eau de boisson associée à une restriction alimentaire diurne en vue d'améliorer la croissance des poulets soumis à un stress thermique chronique et aigu.

*Supplémentation en additifs & restriction alimentaire chez le poulet au chaud...
... Aspects méthodologiques*

Dans cet essai, nous avons soumis les poulets de manière chronique à des températures ambiantes élevées (30,5°C en moyenne maxi et min) entre 4 et 7 semaines d'âge. Ces conditions ambiantes expérimentales visent à reproduire les températures estivales rencontrées sur le terrain. Nous avons également provoqué un stress thermique aigu final (3 h à 37°C) à 52 jours d'âge afin d'évaluer la thermorésistance acquise par les poulets supplémentés et restreints face à un coup de chaleur survenant à l'âge adulte.

En pratique, les conditions d'ambiance du bâtiment d'élevage (Température ambiante, aire de vie ; hygrométrie relative) relevées durant la période expérimentale montrent que la Ta moyenne avoisinait les 31°C avec une HR variant entre 60 et 70%. Les températures minimales enregistrées dépassaient la limite supérieure de la zone de thermoneutralité des poulets âgés entre 4 et 7 semaines. De plus, un pic de température de 37°C est survenu au 39^{ème} jour d'âge des poulets. Ces conditions d'ambiance, éloignées des normes requises pour l'élevage, mettent les poulets dans une situation de stress thermique évident.

L'exposition à la chaleur a débuté à l'âge de 4 semaines, âge auquel s'accroît la sensibilité du poulet à la chaleur (Austic, 1985). Par ailleurs, lors de la répartition des animaux entre les différents traitements expérimentaux, le sexe ratio a été respecté pour l'ensemble des lots. En effet, plusieurs travaux rapportent une thermo-tolérance différente entre sexes ; les mâles étant plus sensibles à la chaleur ambiante comparés aux femelles (Howlinder et Rose., 1992)

Dans notre expérimentation, nous avons opté pour l'utilisation, dans l'eau de boisson, de la vitamine C, des électrolytes (KCl+NaHCO₃), et de l'acide acétique (vinaigre commercial 5°). Le choix de ces additifs était dicté par leurs effets correcteurs spécifiques connus, à savoir : l'effet thermogénique de la vitamine C (Narongsak, 2004 ; et Fathy, 2006), le rétablissement de l'équilibre acido-basique pour les électrolytes et le vinaigre (Ait Boulahsen, 1996 ;

Souilem, 2000 ; Allagui et *al.*, 2004). Les doses administrées de ces différents additifs sont celles recommandées ou testées dans diverses études internationales (Nassem et *al.*, 2005 ; Soutyrine et *al.*, 1998 ; Kadim et *al.*, 2008). Le mode d'administration pratiqué est l'eau de boisson en raison de sa facilité d'application par l'éleveur.

La supplémentation en additifs a été associée à une restriction alimentaire diurne aux heures les plus chaudes de la journée (8 heures par jour) afin de limiter la thermogénèse alimentaire à ces heures là (Ait Boulahsen, 1996 ; Valancony, 1997 et Soutyrine, et *al* 1998). L'association de ces deux solutions, d'ordre technique et nutritionnel, visait la recherche d'un éventuel effet cumulé sur les performances du poulet soumis au stress thermique (Soutyrine, et *al* 1998).

***Supplémentation en additifs & restriction alimentaire chez le poulet au chaud...
... Croissance améliorée selon l'additif***

Dans nos conditions expérimentales, la supplémentation en additifs utilisés associée à la restriction alimentaire diurne, n'a pas permis d'améliorer le poids vif des poulets élevés en ambiance chaude. En effet, comparativement aux poulets témoins (1627g), les poids vif moyens en fin d'élevage étaient en moyenne de 1663 g soit une différence non significative de 2%. Toutefois, en comparant les effets des différents additifs entre eux sur la croissance des poulets, nous constatons que les meilleures réponses sont obtenues avec, en premier, le vinaigre (+5% par rapport aux témoins), puis les électrolytes (+4%) et enfin la vitamine C (+2%). De même, les gains de poids enregistrés en période de croissance sont meilleurs chez les poulets supplémentés en vinaigre et en électrolytes (+7% et +8% respectivement en comparaison aux animaux témoins) ainsi qu'en fin d'élevage : +5% et +3%, respectivement par rapport aux témoins.

Par ailleurs, en considérant chaque phase d'élevage, l'adjonction du vinaigre dans l'eau de boisson associée au retrait de l'aliment, a permis d'améliorer rapidement le poids vif des poulets à 35 jours d'âge : soit une augmentation de 6% par rapport aux témoins après une semaine de traitement. En revanche, pour la même période (de J28 à J35), l'apport d'électrolytes n'a permis que 3% d'augmentation du poids vif. Pour la période allant de J35 à J42, les effets des deux traitements deviennent similaires (+5% pour les électrolytes vs. +6% pour le vinaigre) (Hassan et *al.*, 2009).

Enfin, l'amélioration des poids vifs des poulets semble meilleure chez les mâles comparativement aux femelles, et ce pour les différents additifs utilisés : +5%, +6% et +3% pour les mâles vs +4%, +5% et +2% pour les femelles, respectivement pour les traitements électrolytes, vinaigre et vitamine C, associés au retrait alimentaire. L'amélioration du gain de poids des poulets, à l'âge de 42 jours (soit après 15 jours de traitement), atteint en moyenne 21% chez les mâles traités au vinaigre et aux électrolytes comparés aux témoins, alors que la réponse des femelles à ces mêmes traitement n'est que de 3% en moyenne. Ces réponses différentes selon le sexe ont déjà été signalés par d'autres auteurs concernant la supplémentation en additifs (Puron *et al.*, 2004 ; Bonifácio *et al.*, 2002) ou la technique de mise à jeun (Tumova *et al.*, 2002).

... Ingré alimentaire réduit et conversion alimentaire améliorée ?

Durant cet essai, la consommation d'aliment des poulets recevant les additifs associés à la restriction alimentaire est réduite par rapport aux témoins nourris *ad libitum*. Cette baisse de consommation, comparée à celle des animaux témoins, est plus accentuée chez les poulets supplémentés en électrolytes (-9%) par rapport à ceux recevant le vinaigre et la vitamine C (-2,5% en moyenne). Notons, qu'entre 35 et 42 jours d'âge, les poulets du lot « Vinaigre » ont un ingéré alimentaire significativement supérieur par rapport aux témoins : +18%, $P < 0,05$.

Concernant l'indice de conversion, nous enregistrons, dans nos conditions expérimentales, une meilleure efficacité de transformation alimentaire chez les poulets des lots traités aux électrolytes et au vinaigre : écart de 14% et de 9% respectivement, par rapport aux animaux témoins.

En bref, supplémentation en additifs & restriction alimentaire chez le poulet au chaud...

...Effets cumulés ou antagonistes ?

Les différents additifs utilisés dans cette étude, associés à la restriction alimentaire diurne, n'ont pas eu d'effets comparables sur les performances des poulets élevés au chaud. En effet, l'addition de vitamine C associée au retrait de l'aliment n'a pas eu d'effet positif sur les performances des poulets. D'après la littérature, l'effet améliorateur de la vitamine C (seule) est controversé. Certains auteurs rapportent l'absence d'effet de cette additif sur la

croissance (Stillborn *et al.*, 1988 ; Mckee et Harisson, 1997, Fathy, 2006), alors que d'autres signalent un effet positif (Vathana *et al.*, 2002 ; Abu Dieyeh, 2006 ; Roussan *et al.*, 2007) chez les poulets soumis à la chaleur ambiante. Dans nos conditions, l'association de la mise à jeun diurne et de la supplémentation en vitamine C n'a pas donné l'effet positif escompté. Ceci suppose que l'effet thermogénique de la vitamine C a été contrecarré par la restriction alimentaire appliquée, d'autant plus que la consommation alimentaire n'a pas été compensée durant les heures les plus fraîches de la journée telle que l'atteste les ingérés réduits des poulets supplémentés en vitamine C.

Par ailleurs, l'addition d'électrolytes et de vinaigre dans l'eau de boisson associée à la mise à jeun diurne a légèrement augmenté la croissance des poulets soumis au stress thermique chronique, tout en réduisant leur consommation d'aliment, induisant ainsi une meilleure transformation alimentaire. De tels résultats positifs sur la croissance ont été déjà démontrés par d'autres auteurs utilisant ces additifs, soit seuls (Teeter *et al.*, 1985 ; Smith et Teeter, 1992 ; Balnave et German 1993 ; Fathy, 2006), soit associés à la restriction alimentaire (Soutyrine *et al.*, 1998). Dans nos conditions, l'amélioration des performances des poulets par les électrolytes et le vinaigre a été probablement limitée par la restriction alimentaire appliquée durant 3 semaines, d'autant plus que cette dernière n'a pas permis aux poulets de compenser la baisse d'ingéré induite par la chaleur ambiante comme rapportée par Bonnet *et al.* (1997).

En outre, il aurait été probablement intéressant de limiter la durée de la restriction alimentaire tel que suggéré par plusieurs études rapportant que la mise à jeun tend à réduire le gain de poids lorsqu'elle est appliquée au-delà d'une durée de deux semaines (Farzad et Teteer, 1993 ; Urdaneta-Rincon et Leeson, 2002 ; Lozano *et al.*, 2006 ; Pérez *et al.*, 2006).

***Supplémentation en additifs & restriction alimentaire chez le poulet au chaud...
...Effet sur la consommation d'eau, la température corporelle et la qualité de carcasse***

Dans cette étude, l'apport de vitamine C dans l'eau a réduit la consommation d'eau de 6% et 8%, par rapport aux poulets témoins et ceux recevant les deux autres additifs, respectivement. En revanche, la supplémentation en électrolytes et en vinaigre n'a pas permis d'améliorer la consommation hydrique des poulets qui était en moyenne de 305ml par sujet et

par jour contre 300 ml par sujet et par jour pour les témoins, soit un écart de +2%. Des études antérieures ont également signalé l'absence d'effet améliorateur de la consommation d'eau suite à l'utilisation du NaHCO₃ (utilisé seul) (Branton et *al.*, 1986 ; Balnave et Gorman, 1993). Néanmoins, Balnave et Oliva (1991) rapportent une consommation hydrique accrue de 20% suite à ce même traitement. Par ailleurs, l'utilisation du KCl dans l'eau de boisson associée à la restriction alimentaire a permis d'améliorer la consommation d'eau dans l'étude de Soutyrine et *al.* (1998).

Si l'on considère le rapport entre la consommation d'eau et la consommation alimentaire, nous constatons que dans nos conditions expérimentales, les additifs apportés associés à la mise à jeun, à l'exception de la vitamine C, ont augmenté ce ratio: celui-ci était de 2,69 en moyenne pour les lots « électrolytes » et « vinaigre » et 2,45 pour le lot « vitamine C » vs 2,59 pour le lot témoin. Cette augmentation est aussi rapportée par d'autres études portant sur la supplémentation en KCl seul (Soutyrine et *al.*, 1998) ou associée à la mise à jeun (Fairchild et Casey, 2006). Dans notre essai, l'augmentation de ces ratios lors de la supplémentation en électrolytes et en vinaigre serait surtout liée à la baisse de l'ingéré alimentaire. En revanche, la diminution de ce ratio chez les poulets supplémentés en vitamine C serait induite par la plus faible consommation d'eau de ces animaux. Cette dernière pourrait traduire un impact positif de la vitamine C sur la thermogénèse du poulet (Kolb, 1984).

Néanmoins, les températures corporelles relevées dans notre essai, chez les poulets supplémentés en additifs et restreints étaient quasi similaires à celles mesurées chez les témoins. Celles-ci étaient, à l'état nourris, en moyenne de 43,91°C et de 43,81°C, respectivement chez les mâles et les femelles supplémentés en additifs contre 44,12°C et 44,14°C, chez les mâles et les femelles témoins, respectivement ; soit un écart de 0,21°C pour les premiers et de 0,33°C pour les secondes. Les travaux portant sur l'ajout de ces mêmes additifs, soit seuls ou en mélange, ne rapportent pas de modification significative de la température corporelle : variations inférieures à 2,2% comme tel que obtenu dans notre essai (Beker et Teeter, 1994 ; Soutyrine et *al.*, 1998 ; Borges et *al.*, 2004 ; Fathy, 2006).

Globalement, le rendement de la carcasse et le poids des viscères (exprimés en valeur absolue ou rapportés au poids vif de l'animal) ne sont pas modifiés par la supplémentation en électrolytes, en vinaigre ou en vitamine C, associés à la restriction alimentaire. Il est toutefois

intéressant de souligner que, dans ces mêmes conditions, la proportion du gras abdominal par rapport au poids vif est significativement réduite comparativement à celle des animaux témoins : -11,5% en moyenne, $P < 0,05$. Nos résultats concordent avec certaines études montrant que le taux du gras abdominal est réduit par la restriction alimentaire (Plavnik et Yahav., 1998), la supplémentation en vitamine C (Kultu, 2001) et en électrolytes (Mushtaq et al., 2005 ; Mushtaq et al., 2007), même si ce résultat n'est pas retrouvé par d'autres auteurs (Lohakare et al., 2005 ; Lin et al., 2006).

Sachant qu'une exposition prolongée à une température ambiante élevée entraîne une augmentation du tissu adipeux abdominal chez le poulet (Ain Baziz et al., 1996), nous pouvons conclure que dans nos conditions, la supplémentation en additifs associés à la mise à jeun a permis de limiter cet engraissement excessif. De ce fait, cette énergie non stockée sous forme de dépôt adipeux serait utilisée pour la croissance corroborant avec l'amélioration relative du poids des poulets dans ces mêmes conditions.

***Supplémentation en additifs & restriction alimentaire chez le poulet au chaud...
... Effet sur l'équilibre électrolytique, les paramètres sanguins et l'immunité***

Le but de l'utilisation du KCl et du NaHCO₃ visait à corriger l'hypokaliémie et l'hyponatrémie induites par l'exposition du poulet au stress thermique (Teeter et al., 1985 ; Bonifácio et al., 2002 ; Naseem, et al., 2005 et Borges .,2007). Or, dans nos conditions d'essai, l'association de ces deux supplémentation avec le retrait de l'aliment n'a pas permis d'augmenter les teneurs plasmatiques en K⁺ et en Na⁺ comparativement aux témoins. Nos résultats rejoignent ceux de Borges et al. (2003, 2004). Par contre, Southyrine et al. (1998) et Nassem et al. (2005) trouvent des effets positifs de ces additifs sur la kaliémie des poulets soumis à la chaleur.

L'augmentation de l'hématocrite et du taux d'hémoglobine sanguines suite à un stress thermique chronique est bien connu (Borges, 1997 ; Borges, et al., 2001 et Borges, 2007). Elle serait liée à la fois à une hypoxie et à une stimulation de l'érythropoïèse dans ces conditions (Olanrawaju et al., 2006). Dans nos conditions, les valeurs de l'hématocrite et de l'hémoglobine sanguines ont été corrigées par l'association de la supplémentation en vinaigre et en vitamine C au retrait diurne de l'aliment, à l'âge de 42 jours : -4,5% par rapport aux

témoins. Cette baisse semble plus accentuée chez les femelles comparativement aux mâles et s'atténue à l'âge de 49 jours.

Concernant les indicateurs plasmatiques du statut immunitaire, nos résultats ne montrent pas d'effet significatif de la supplémentation en additifs associée à la mise à jeun, sur la population de globules blancs et de monocytes des poulets exposés au chaud contrairement à Soutyrine et *al.* (1998) qui rapportent une augmentation des leucocytes après supplémentation en KCl.

Concernant les taux de lymphocytes (L), des hétérophiles (H) ainsi que leur rapport (H/L ; qui est indicateur du stress) sont significativement augmentés après supplémentation en additifs associée à la mise à jeun comparativement aux poulets témoins. Ceci corrobore les résultats obtenus dans d'autres essais (Borges et *al.*, 2003, 2004).

Au vu de nos résultats, la réponse, en terme de ratio H/L des poulets soumis au stress thermique chronique semble meilleure après supplémentation en électrolytes et en vinaigre comparativement au traitement à base de vitamine C : H/L = 0,41 et 0,44 pour les lots électrolytes et vinaigre vs. 0,51 et 0,54 pour le lot vitamine C, respectivement à l'âge de 42 et 49 jours.

Supplémentation en additifs & restriction alimentaire chez le poulet au chaud... ... effet sur la mortalité

Globalement, dans nos conditions d'essai, la mortalité cumulée enregistrée chez les poulets supplémentés en électrolytes et en vinaigre est quasi similaire à celle relevée chez les poulets témoins : 4,8% vs 4,3% à l'instar des résultats obtenus par Borges et *al.* (2003a ; 2003b) et Borges et *al.* (2004). En revanche, d'autres études soulignent une baisse significative de la mortalité liée au coup de chaleur après supplémentation en électrolytes seuls (Puron et al 1994, Souilem et *al.*, 2000) ou associés à la vitamine A et à l'acide salicylique (Roussan et *al.*, 2008).

Par ailleurs, le taux de mortalité mesuré chez les poulets supplémentés en vitamine C et restreints, est de 10% soit une augmentation de 6 points par rapport aux autres lots. Cette élévation de la mortalité est contraire aux données de la littérature (McKee et Harrison, 1995 ;

Kutlu, 2001 ; Vathana et *al.*, 2002 ; Narongsak, 2004 ; Fathy, 2006) soulignant une amélioration de la survie des poulets soumis au chaud et supplémentés en vitamine C. En fait, la mortalité accrue observée dans nos conditions s'expliquerait probablement par l'apparition d'une MRC associée à une coccidiose survenue entre J35 et J42 et confirmée par autopsie.

***Supplémentation en additifs & restriction alimentaire chez le poulet au chaud...
... Quel impact lors de stress thermique aigu ?***

Dans cet essai, nous avons voulu évaluer la thermo-résistance des poulets supplémentés en additifs et restreints en les soumettant à un coup de chaleur simulé en fin d'élevage (température ambiante de 37°C durant 3 heures à 52 jours d'âge).

Dans ces conditions, la survie des poulets recevant les additifs et mis à jeun est nettement améliorée par rapport à celle des témoins : 8,83% vs 18,8% ; soit une diminution du taux de mortalité atteignant les 50%.

La meilleure survie observée après le coup de chaleur final chez les poulets traités ne s'expliquerait pas par une plus grande thermo-résistance puisque la température rectale des mâles, mesurée à l'état nourri, était comparable à celle enregistrée chez les poulets témoins : 45,04°C en moyenne entre les lots traités contre 45,25°C chez les témoins. Elle serait probablement liée à une réduction significative ($P < 0,05$) de la quantité d'aliment ingérée en ce jour de stress thermique aigu, elle-même induite par le retrait de l'aliment (Ait Boulahsen, 1996).

Conclusion Et Perspectives

Le présent travail, nous a permis d'évaluer l'impact de l'association d'une solution technique, à savoir la restriction alimentaire diurne, avec une solution nutritionnelle basée sur une supplémentation en additifs dans l'eau de boisson, afin de pallier aux effets néfastes du stress thermique (chronique et aigu) sur la croissance du poulet de chair.

Globalement, dans **nos conditions de stress thermique chronique**, la restriction alimentaire diurne associée à la supplémentation de l'eau de boisson en vitamine C, en électrolytes ou en acide acétique (vinaigre commercial) n'a pas amélioré de manière significative le poids vif du poulet soumis à un stress thermique chronique. Notons, que les meilleures réponses, en termes de croissance, sont obtenues par les traitements à base de vinaigre ou d'électrolytes, comparativement aux témoins et à l'ajout de vitamine C.

Dans ces mêmes conditions, l'ingéré alimentaire des poulets supplémentés est réduit par rapport aux témoins, particulièrement ceux recevant le vinaigre dans l'eau de boisson. Par conséquent, l'indice de consommation, reflétant l'efficacité de transformation alimentaire est amélioré. La qualité de la carcasse est comparable entre les lots traités et les témoins, à l'exception de la proportion du gras abdominal qui se trouve réduite par l'ajout des additifs et la restriction alimentaire.

En outre, nos résultats indiquent que seule la supplémentation à base de vitamine C a réduit la consommation hydrique des poulets exposés à la chaleur ambiante, induisant une hausse du ratio Consommation d'eau/ consommation d'aliment.

Par ailleurs, l'association de l'ajout d'additifs à la mise à jeun n'a pas eu d'impact significatif sur la mortalité des poulets exposés au stress thermique chronique, ni sur la température corporelle dans ces conditions. En revanche, les traitements appliqués ont significativement augmenté le ratio Hétérophiles/Lymphocytes, traduisant une meilleure réponse face au stress thermique subi, particulièrement chez les poulets supplémentés en électrolytes et en vinaigre.

Lors de l'application d'un stress thermique aigu en fin d'élevage (exposition à 37°C durant 3 heures à l'âge de 52 jours), la supplémentation en additifs associée à la restriction alimentaire diurne a permis de réduire de moitié la mortalité par rapport aux témoins. Ceci ne serait pas lié à une meilleure thermorésistance des poulets traités mais serait plutôt dû à la baisse de la consommation alimentaire, enregistrée dans ces conditions.

Au vu de nos résultats, la supplémentation à base de vinaigre et d'électrolytes associée à la mise à jeun semblent intéressante pour améliorer les performances des poulets élevés en période estivale. Ces solutions sont d'autant plus séduisantes, dans la mesure où elles sont facilement applicables par l'éleveur sans induire d'importants surcouts.

Par ailleurs, il est à souligner que l'amélioration relative de la croissance obtenue dans notre essai, ait été probablement limitée par l'application de la restriction alimentaire. De ce fait, il serait intéressant d'évaluer l'impact de ces additifs lorsqu'ils sont utilisés soit seuls, soit associés à d'autres types de solutions (acclimatation précoce des poussins, remaniement de la composition de la ration, origine génétique de l'animal...).

Enfin, face au stress thermique chronique et aigu, il est important de préciser les mécanismes métaboliques et cellulaires impliqués dans la réponse des animaux supplémentés en ces divers additifs.

Références Bibliographiques

A

- Abu-Dieyeh, Z.H.M., 2006. Effect of high ambient temperature on growth performance of broilers. *International Journal of Poultry Science*, 5, 19-21.
- Ahmed, S. M. N., 2005. Studies on the thermoregulation of local chickens. Mémoire de magister. Department of Animal Production Faculty of Agriculture Al-Azhar University, 133pages.
- Ahmad T., Mushtaq T., Mahr-Un-Nisa, Sarwar M., Hooge DM., Mirza MA., 2006. Effect of different non-chloride sodium sources on the performance of heat-stressed broiler chickens. *British Poultry Science* 47(3), 249-256.
- Ahmad T., Khalid T., Mushtaq T., Mirza M.A, Nadeem A. Babar M. E. & Ahmad G., 2008 Effect of potassium chloride supplementation in drinking water on broiler performance under heat stress conditions. *Poultry Science* 87, 1276-1280.
- Aengwanich W., Sridama P., Phasuk Y., Vongpralab T., Pakdee P., Katawatin S. & Simaraks, S., 2005. Effects of ascorbic acid on cell mediated, humoral immune response and pathophysiology of white blood cell in broilers under heat stress. *Songklanakar Journal Science Technology*, 25(3), 297-305.
- AinBaziz H., 1990. Effet de la température ambiante et de la composition du régime alimentaire sur les performances de croissance et le métabolisme énergétique du poulet. Thèse de magistère en Sciences agronomiques. Institut National Agronomique El-Harrach, 85pages.
- Ain Baziz H., 1996. Effet d'une température ambiante élevée sur le métabolisme lipidique chez le poulet en croissance. Thèse doctorat de l'université de Tours, 138pages.
- AinBaziz H., Geraert PA., Padilha JC., Guillaumin S., 1996. Chronic heat exposure enhances fat deposition and modifies muscle and fat partition in broiler carcasses. *Poultry Science*, 75(4), 505-13.

- Ait-Boulahsen, A., Garlich, I. D. & Edens, F. W. 1989. Effect of fasting and acute heat stress on body temperature, blood acid-base and electrolyte status in chickens. *Comparative Biochemistry and Physiology* 94A, 683-687.
- Ait-Boulahsen A., Garlich JD., Edens FW., 1995. Potassium chloride improves the thermotolerance of chickens exposed to acute heat stress. *Poultry Science*, 74(1), 75-87.
- Ait Boulahsen A., 1996. Stress Thermique et Nutrition et Alimentation Des Volailles en Climat Chaud. Département de production animale d'agriculture. Meknés Mai 1996. <http://www.fisa.org.ma/fisa/infotech/Stress%20Thermique%20Nutrition%20Alimentation%20Ait%202005.pdf>
- Aksit M., Yalçın S., Özkan S., Metin K. & Özdemir D., 2006. Effects of Temperature During Rearing and Crating on Stress Parameters and Meat Quality of Broilers. *Poultry Science*, 85, 1867-1874.
- Allagui E., Chakroun C., Chebbi C., & Amor R., 2004. L'approche thérapeutique de la lutte contre les coups de chaleurs. Volaille de Tunisie. *Revue Scientifique et technique du secteur avicole en Tunisie*, 33-39.
- Altan O., Altan A., Cabuk M., & Bayraktar H., 2000. Effect of heat stress on some blood parameter in broilers. *Turkish Journal of Veterinary Animals Science*, 24: 2, 145-148.
- Amand G., Aubert C., Bourdette ??., Bouvarel I., & Chevalier D. , 2004. La Prévention Du Coup De Chaleur En Aviculture. *Sciences et Techniques Avicoles, la revue Scientifique de l'aviculture Hors Série* (5), 64.
- Arad Z., & J. Marder, 1982. Effect of gradual acclimation to high ambient temperatures on egg shell quality of the Sanai bedouin fowl, the commercial White Leghorn and their cross breeds. *British Poultry Science*. 23, 113-119.
- Arad Z., 1983. Thermoregulation and acid -base status in the panting dehydrated fowl. *Journal of Applied Physiology*, 54, 234-243.

Austic R.E., 1985. Feeding poultry in hot and cold climates. In : Stress physiology in livestock CRC Press, Boca Raton, USA.,123-136.

Ayoub H., 1989. Role of single gene effects on poultry production in developing countries. 1st French-Egyptian Symposium on poultry Sciences and development. Cairo, 28-30 March, Edited by M. Larbier.

B

Balnave D. & Oliva AG., 1991. The influence of sodium bicarbonate and sulfur amino acids on the performance of broilers at moderate and high temperatures. Australian Journal of Agricultural Research. 42(8), 1385 – 1397.

Balnave D. & Gorman I., 1993. A role for sodium bicarbonate supplements for growing broilers at high temperatures .World's Poultry Science journal. 49, 236-241.

Balnave D., & Muheereza S. K., 1997. Improving Eggshell Quality at High Temperatures with Dietary Sodium Bicarbonate. Poultry Science. 76, 588-593.

Beers KW., Raup TJ., Bottje WG & Odom TW.,1989. Physiological responses of heat-stressed broilers fed nicarbazin. Poultry Science. 68(3), 428-434.(Abstract)

Bégos P., 2004. La volaille régule difficilement les fortes températures. Actualités agricoles Paysan Breton en Bretagne, Côtes d'Armor, Finistère, Ille-et-Vilaine, Morbihan ; 23 au 30 Avril.

Beker A., & Teeter R.G., 1994. Drinking water temperature and potassium chloride supplementation effects on broiler body temperature and performance during heat stress. Journal of Applied Poultry Research. 3, 87-92.

Belay T., Teeter RG., 1993. Broiler water balance and thermobalance during thermoneutral and high ambient temperature exposure. Poultry Science 1993; 72(1):116-124.

- Berrang ME., Smith DP., & Hinton A., 2006. Application of distilled white vinegar in the cloaca to counter the increase in *Campylobacter* numbers on broiler skin during feather removal. *Journal of Food Protection*. 69(2), 425-427.
- Berrong SL., Washburn KW., 1998. Effects of genetic variation on total plasma protein, body weight gains, and body temperature responses to heat stress. *Poultry Science*.;77(3), 379-85.
- Bonifácio B., Antônio G. B., Antônio S. T., José A. De F. L. & Rilke T. F. De F. 2002. Effects of potassium chloride supplementation on acid-basic equilibrium and performance of broiler chickens in the summer *Ciênc. agrotec., Lavras*. V.26,N ° 6 (11/12), 1297-1304.
- Bonnet S., Geraert PA., Lessire M., Carre B. & Guillaumin S., 1997 . Effect of high ambient temperature on feed digestibility in broilers; *Poultry Science*.76(6), 857-863.
- Bordas A., Merat P., Sergent D., & Ricard F.H., 1978. Influence du gène Na (Cou nu) sur la croissance, la consommation alimentaire et la composition corporelle du poulet selon la température ambiante. *Annales de Génétique Et de Sélection. Animal*. 10(2), 209-231.
- Borges, S. A., 1997. Suplementação de cloreto de potássio e bicarbonato de sódio para frangos de corte durante o verão. 1997. 84 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade do Estado de São Paulo, Jaboticabal
- Borges S. A., Fischer Da Silva A. V., Majorca A., Hooge D. M. & Cummings K. R., 2004. Physiological Responses of Broiler Chickens to Heat Stress and Dietary Electrolyte Balance (Sodium Plus Potassium Minus Chloride, Milliequivalents Per Kilogram). *Poultry Science*, 83, 1551–1558.
- Borges S. A., Fischer Da Silva A. V., Majorca A., Hooge D. M. & Cummings K. R., 2003a. Dietary Electrolyte Balance for Broiler Chickens Under Moderately High Ambient Temperatures and Relative Humidities. *journal poultry Science*. 82, 301–308

- Borges S. A., Fischer Da Silva A. V., Majorca A., Hooge D. M. & Cummings K. R., 2003b. Dietary Electrolyte Balance for Broiler Chickens Exposed to Thermoneutral or Heat-Stress Environments. *Journal of Poultry Science* 82, 428-435.
- Borges S. A., Fischer Da Silva A.V., Majorca A., 2007. Acid-base balance in broilers. *Cambridge University Press World's Poultry Science Journal*. 63, 73-81.
- 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.
- Bounous D. I. & Stedman N. L., 2000. Normal avian hematology ; 2000: chicken and turkey. In: Feldman, B.V.; Zinkl, J.G. & Jain, N.C. *Schalm's Veterinary hematology*. 5. ed. Philadelphia, Williams & Wilkins. 1145-154.
- Bourgeon S., 2006. Immunocompétence chez les oiseaux longévifs : étude du coût de la reproduction lors du jeûne d'incubation chez l'eider à duvet (*somateria mollissima*). Thèse Doctorat de l'Université Louis Pasteur,Strasbourg I DiSciencepline : Sciences du Vivant ; p 17,(299)
- Bouvarel I.,Frank Y. & coll, 1997. Utilisation de la mise a jeun pendant la période estivale .Deuxièmes Journées de la Recherche Avicole, Tours, 8-10 avril 1997, 165-168
- Bouzouaia. M., 2005. Techniques d'élevage des volailles en climat chaud. Volaille de Tunisie. *Revue Scienceentifique, technique du secteur avicole en Tunisie*, N°3, Mai 2005.
- Branton S.L, Reece F.N. & Deaton J.W., 1986. Use of Ammonium Chloride and sodium bicarbonate in acute heat exposure of broilers. *Poultry Science*. 65: 1659-1663.

C

- Campbell T.W., 1994. Avian Hematology and cytology *Hematology*. In: Richie, B. W; Harrison, G. L. & Harrison, L. R. Avian Medicine: Principles and Applications. Winger Publishing. 176-198.
- Campbell D., 1995. Avian Hematology And Cytology, version française , editeur : wiley blackwe, 2 Rev Ed editor (1jan1995) 12-17. 108pages
- Cerniglia GJ. Herbert JA., & Watts AB., 1983. The effect of constant ambient temperature and ration on the performance of sexed broilers. *Poultry Science*; 62(5), 746-754.
- Chakroun C., 2004. Les effets de la chaleur en aviculture. *Volaille de Tunisie Revue Scienceentifique, technique du secteur avicole en Tunisie*, N°-33, Septembre 2004.
- Chen J., Balnave D., & Brake J., 2005. The Influence of Dietary Sodium Chloride, Arginine:Lysine Ratio, and Methionine Source on Apparent Ileal Digestibility of Arginine and Lysine in Acutely Heat-Stressed Broilers. *Poultry Science* 84, 294-297
- 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), 227-235.
- Cooper MA., Washburn KW., 1998. The relationships of body temperature to weight gain, feed consumption, and feed utilization in broilers under heat stress *Poultry Science*. ; 77(2), 237-42.

D

- Dai N. V. & Bessei W., 2007. Potassium chloride supplementation in drinking water of laying hens as a means to maintain high productivity under high ambient temperature. University of Kassel-Witzenhausen and University of Göttingen,

Conference on International Agricultural Research for Development, October 9-11, 2007.

Daskiran M., Teeter R. G., Vanhooser S. L., Gibson M. L., & Roura E., 2004. Effect of Dietary Acidification on Mortality Rates, General Performance, Carcass Characteristics, and Serum Chemistry of Broilers Exposed to Cycling High Ambient Temperature Stress. *Journal of Applied Poultry Research*. 13, 605-613

De Basilio V., & Picard M., 2002. La capacité de survie des poulets à un coup de chaleur est augmentée par une exposition précoce à une température élevée. *Productions animales*, vol. 15, N° 4.

De Basilio V., Oliveros I., vilariño M., Diaz J., Leon A. & Picard M., 2001. Intérêt de l'acclimatation précoce dans les conditions de production des poulets de chair au Venezuela. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux* 2001, 54(2):159-167.

Desbordes P., 2007. Conduite d'élevage et alimentation des volailles. *Revue Afrique agriculture*. Mai, Juin 2007

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, 2551-2553.

Deyhim F. & Teeter R.G., 1995. Effect of heat stress and drinking water salt supplements on plasma electrolytes and aldosterone concentration in broiler chickens, *revue international of biometeorology*, vol 38,4(12), 216-217

Dozier W. A., Moran E. T. & Kidd M. T., 2000. Threonine Requirement of Broiler Males From 42 to 56 Days In A Summer Environment. *Journal Applied poultry research*. 9, 496-500.

Dickens J. A. & Whittemore A. D., 1997. Effects of Acetic Acid and hydrogen peroxide application during defeathering on the microbiological quality of broiler carcasses prior to evisceration. *Poultry Science*. 76, 657-660.

Dunnington E.A., Siegel P.B., Katambaf N.K., Gross W.B., 1987. Response of early and late feathering broilers to various stressors. *Poultry Science*., 66, 168-170.

E

El-Husseiny O., & Creiger C.R., 1980. The effect of ambient temperature on carcass energy in chickens. *Poultry Science*. 59, 2307-2311.

F

Fathy Abd-El Twab Abd-El Hafz., 2006. Study of some anti-heat stress procedures in broilers. 2006. Thèse de magister. Agricultural Science Animal Production (Poultry Physiology) Department of Animal Production faculty of Agriculture Al-Azhar University. 47pages.

Fairchild B.D. & Casey W.R., 2006. Drinking Water Primer learning for life The University of georgia. *Bulletin Poultry*. (4), 1301/April.

Farzad Deyhim & Robert G. Teeter., 1993. Dietary Vitamin And/Or Trace Mineral Premix Effects On Performance, Humoral Mediated Immunity And, Carcass Composition of broilers during thermoneutral and high ambient temperature distress. *Journal. Applied Poultry Research*. 2. 347-355.

Farran M. T., Barbour G. W., Uwayjan M. G., & Ashkarian V.M., 2001. Metabolizable energy values and Amino Acid Availability of vetch (*Vicia sativa*) and Ervil (*Vicia ervilla*) Seeds Soaked in Water and Acetic Acid. *Poultry Science*. 80, 931-936.

Farrell D.J., 1988. The energy metabolism of poultry: present and future perspectives. 18th World poultry. Conférence. Japan, 85-91.

Francesch M., 2005. Facteurs nutritionnels modifiant l'humidité et la qualité des excréta et de la litière en volailles. IRTA - Département de Nutrition Animal. Centre Mas Bové. Espagne. Sixièmes Journées de la Recherche Avicole, St Malo, 30 et 31 mars 2005.

Furuse M., & Okumura J., 1989. Effect of dietary acetic acid levels on protein and energy utilization in chicks. 68(6), 795-598.

G

Gary D. Butcher, et Richard Miles ;2003 :Heat Stress Management in Broilers, The Veterinary Medicine-Large Animal Clinical Sciences Department, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. Original publication date May 1, 1996. Reviewed May 1, 2003.

.

Gogny M. & Souilem O., 1991. Le stress thermique en élevage avicole : aspects physiopathologiques et déductions thérapeutiques. *Revue Médecine Vétérinaire* .142(11), 805-810.

Gross W.B., Siegel P.B., 1986 : Effects of Initial and Second Periods of Fasting on Heterophil/Lymphocyte Ratios and Body Weight. *Avian Diseases*. Vol. 30, No. 2 345-346.

Guibert J.M., 2004. Alimentation des pondeuses en climat chaud. *Volaille de Tunisie. Revue Scientifique, technique du secteur avicole en Tunisie*. N°35 Septembre 2005.

Geraert, P.A., J.C. Padilha and S. Guillaumin, 1996. Metabolic and endocrine changes induced by chronic heat exposure in broiler chickens: biological and endocrinological variables. *British Journal. Nutrition.*, 75, 205-216.

H

- Hassan, A.M., May Abdelazeem, H., et Reddy P.G., 2009. Effect of some water supplements on the performance and Immune system of chronically Heat-stressed broiler chicks. *International Journal of Poultry Science*. 8(5), 432-436.
- Hassan S.M., Mady M.E., Cartwright A.L., Sabri H.M., & Mobarak M.S., 2003. Effect of Acetyl salicylic Acid in Drinking Water on reproductive Reproductive Performance in Japanese Quail (*Coturnix coturnix japonica*). *Poultry Science* 82, 1174-1180
- Howlider, M.A.R. & Rose S.P., 1989. Rearing temperature and the meat yield of broilers. *British Poultry Science*. 30, 61-67
- Howlider, M. A. R. & Rose S.P., 1992. The response of growing male and female chickens kept at different temperatures to dietary energy concentration and feed form. *Animal Feed Science and Technology*, 39, 71-78.
- Herremans M., 1988. Influence of plumage condition and environmental temperature on the relation between components of the energy balance in brown layers. Energy metabolism of farm animals. Proceedings of the 11th Symposium, Lunteren, Netherlands, 18-24 Septembre. , EAAP Publ.
- Hofman A., 2000. Amélioration De L'aviculture Traditionnelle Aux Iles Comores. Mémoire de troisième doctorat en Médecine Vétérinaire .Service de Nutrition Université de Liège Faculté de Médecine Vétérinaire, 71 pages.
- Hillman P.E., Scott N.R., & Tienhoven A., 1985. Physiological responses and adaptation to hot and cold environments. In Yousef M.K. (Ed.), *Stress physiology in livestock*, vol. 3, Poultry, CRC Press, Boca Raton, Floride, 1-71
- Hudson B.P., Dozier W.A., Fairchild B.D., Wilson J.L., Sander J. L., & Ward T.L., 2004. Live Performance and Immune Responses of Straight-R un Broilers: Influences of

Zinc Source in Broiler Breeder Hen and Progeny Diets and Ambient Temperature During the Broiler Production Period. *J. Applied. Poultry. Research.* 13: 291-301.

J

Johnson R.J., & Farrell D.J., 1983. Energy metabolism of groups of broiler breeders in open circuit respiration chambers. *British. Poultry. Science.*, 24, 439-453.

K

Kadim I. T., Al-Marzooqi W., Mahgoub O., Al-Jabri A. & Al-Waheebi S.K. 2008..Effect of Acetic Acid Supplementation on egg quality Characteristics of commercial laying Hens during hot season. *International Journal of Poultry Science.* 7 (10), 1015-1021.

Kidd M.T., Barber S. J., Zumwalt C. D., Branton S. L., & Hoehler D., 2003. Dietary Amino Acid and Sodium Bicarbonate Responses in Broilers Reared in Hot Environmental Temperatures. 2003 *Journal of. Applied. Poultry. Research.* 12:321–327

Kolb E., 1984 . *Fisiologia veterinaria.* 4th Edition. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, Brazil.

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) . *Archive Fur Tierernährung.* .5452.127-39. .

L

Larbier,M., Leclercq B., 1993. *Nutrition et alimentation des volailles,* INRA Edition, Paris, 355 pages.

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 2003 *Poultry Science* 82:1879–1885.

- Lin H., Jiao H.C., Buyse J. et Decuypere E., 2006. Strategies for preventing heat stress in poultry. Cambridge University Press. *World's Poultry Science Journal*, 62: 71-86
- 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 Research*. 14:10–19.
- Lozano C., De Basilio V., Oliveros I., Alvarez R., Colina I., Bastianelli D., Yahav S. & Picard M., 2006. Is sequential feeding a suitable technique to compensate for the negative effects of tropical climate in finishing broilers? *Animal research*. 55, 71-76.
- Lu Q., Wen J., & Zhang H., 2007. Effect of Chronic Heat Exposure on Fat Deposition and Meat Quality in Two Genetic Types of Chicken. *Poultry Science*. 86, 1059-1064.

M

- Maria F. F., Jorge F. Z., Gastao B. E., Ednardo R. F., Maria G. S., & Francisco M. S., & Francisco M. S., 1998. Sodium Bicarbonate supplementation in diets for guinea Fowl Raised at High Environmental Temperatures. *Poultry Science*. 77, 714-717.
- Maxwell M.H., Robertson G.W., Anderson I.A., Dick L.A., & Lynch M., 1991. Haematology and histopathology of seven-week-old broilers after early food restriction. *Research in Veterinary Science*., 50: 290-297.(Abstract)
- Maxwell M. H., 1993. Avian blood leukocyte responses to stress. *World's Poultry Science Journal*. Volume 49, Number 1(3), 34-43.
- May JD, Lott BD., 1992. Feed and water consumption patterns of broilers at high environmental temperatures. *Poultry Science*. 71(2), 331-6.
- Mbajjorgu C.A., Ng'ambi J.W. & Norris D., 2007. Effect of Time of Initiation of Feeding after Hatching and Influence of Dietary Ascorbic Acid Supplementation on Productivity, Mortality and Carcass Characteristics of Ross 308 Broiler Chickens in South Africa .*International Journal of Poultry Science*. 6 (8), 583-591.

- McKee J.S. & Harrison P.C., 1995. Effects of supplemental ascorbic acid on performance of broiler chickens exposed multiple concurrent stressors. *Poultry Science*. 74, 1772-1775.
- McKee J. S., Harrison P. C., & Riskowski G. L., 1997. Effects of Supplemental Ascorbic Acid on the Energy Conversion of Broiler Chicks During Heat Stress and Feed Withdrawal. *Poultry Science* 76, 1278–1286.
- Meijerhof R. & Furmanek D., 2006. The Importance of Temperature Control in Optimising Chick Health .*World Poultry*. volume 22 No 3., 22-23.
- Mendes A.A., Watkins S.E., England J.A., Saleh E.A., Waldroup A.L., & Waldroup P.W., 1997. Influence of dietary lysine levels and arginine:lysine ratios on performance of broilers exposed to heat or cold stress during the period of three to six weeks of age. *Poultry Science*. 76, 472-481.
- Merlot E., 2004. Conséquences du stress sur la fonction immunitaire chez les animaux d'élevage, *INRA Production Animale* .17(4), 255-264.
- Mushtaq T., Sarwar M., Nawaz H., Aslam M., Mirza, & Ahmad T., 2005. Effect and Interactions of Dietary Sodium and Chloride on Broiler Starter Performance (Hatching to Twenty-Eight Days of Age) Under Subtropical Summer Conditions. *Poultry Science*. 84, 1716–1722.
- Mushtaq T., Aslam Mirza M., Athar M., Hooge D. M., Ahmad T., Ahmad G., Mushtaq M. M. H. & Noreen U., 2007. Dietary Sodium and Chloride for Twenty-Nine-to Forty-Two-Day-Old Broiler Chickens at Constant Electrolyte Balance Under Subtropical Summer Conditions. *Journal of Applied Poultry Research* 16(2): 161-170.

N

- Njoku, P. C., 1986. Effect of dietary ascorbic acid supplementation on broiler chickens in a tropical environment, in *Animal Feed Science and Technology*, Elsevier Publisher, Netherlands, 16: 17-24
- Naseem M.T., Shamooun Naseem M., Younus Zafar Iqbal Ch., Aamir Ghafoor A A & Akhter S., 2005. Effect of Potassium Chloride and Sodium Bicarbonate Supplementation on Thermotolerance of Broilers Exposed to Heat Stress. *International Journal of Poultry Science*. 4 (11), 891-895.
- Narongsak C., 2004. physiological reactions of poultry to heat stress and methods to reduce its effects on poultry production. *Thai Journal. Veterinary. Medicine*. Vol. 34 No. 2, 30 June. 17-29.
- N'Dri A. L., 2006. Etude des interactions entre génotype et environnement chez le poulet de chair et la poule pondeuse . Thèse de doctorat. Département t des Sciences animales Institut National Agronomique Paris-Grignon. 225 pages

O

- Olanrewaju H. A., Wongpichet S., Thaxton J. P., Dozier W. A. & Branton S. L., 2006. Stress and Acid-Base Balance in Chickens. *Poultry Science*. 85, 1266–1274.

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, 205 pages.
- Plavnik and S. Yahav, 1998. Effect of environmental temperature on broiler chickens subjected to growth restriction at an early age. *British Poultry Science*. 77: 870-872

- Pardue S.L., Taxton J.P., Brake., 1985. Role of ascorbic acid in chicks exposed to high environmental temperature (résumé). *Journal of Applied Physiology*. 58, 1511-1516.
- Perez M., de Basilio V., Colina Y., Oliveros Y., Yahav S., Picard M. & Bastianelli D., 2006. Evaluation du niveau de stress thermique par mesure de la température corporelle et du niveau d'hyperventilation chez le poulet de chair dans des conditions de production au Venezuela. *Revue d'élevage et de la médecine vétérinaire des pays tropicaux*. 59 (1-4), 81-90.
- Per Jensen & coll., 2000. *The Welfare of Chickens. Kept for Meat Production (Broilers)* Report of the Scientific Committee on Animal Health and Animal Welfare, Adopted 21 March 2000 European Commission Health & Consumer Protection Directorate-General. 150 pages.
- Post J., Rebel J.M.J., & Huurne A.A.M., 2003. Automated Blood Cell Count : A Sensitive and Reliable Method to Study Corticosterone-Related Stress in Broilers. *Poultry Science*, 82, 591–595.
- Puron D., Santamaria R., Segura J.C., 1994. Effects of Sodium Bicarbonate, Acetylsalicylic, and Ascorbic Acid on broiler performance in a tropical environment. *Journal 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 Research*. 6, 443-448
- Puthongsiriporn 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), 1190-1200

Q

Quiniou N., 2002. Le point sur l'équilibre acido-basique chez le porc et le bilan électrolytique des aliments. *Techni Porc*. Vol. 25, NO3 :19-24.

R

Ramnath V., Rekha P. S. & Sujatha K. S., 2007. Amelioration of Heat Stress Induced Disturbances of Antioxidant Defense System in Chicken by Brahma Rasayana .Department of Physiology and Department of Statistics, College of Veterinary and Animal Sciences, Kerala Agricultural University, Mannuthy,Thrissur 680651, Kerala, India. doi:10.1093/ecam/nel116 Original Article .*Ecam*. 1- 8.

Ricard., F.H., & Cochez L.P., 1972. L e gène de nanisme dw et les performances des poulets dans une souche de type femelle chair. *Annales de Génétique Et de Sélection. Animal.*, 4, 297.

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 Research*. 17. 141-144.

S

Sahin K., Onderci M., Sahin N., Gursu M. F., et Kucuk O., 2003. Dietary Vitamin C and Folic Acid Supplementation Ameliorates the Detrimental Effects of Heat Stress in Japanese Quail. *Journal of Nutrition*. 133: 1882–1886.

Sahin K., Smith M. O., Onderci M., Sahin N., Gursu M. F., & Kucuk O., 2005. Supplementation of Zinc from Organic or Inorganic Source improves performance and antioxidant status of heat- distressed quail. *Poultry Science*, 84, 882-887.

- Sands J. S. & Smith M.O., 1999. Broilers in heat stress condition effects of dietary manganese Proteinate or chromium picolinate supplementation. Journal. Applied Poultry Research. 8, 280-287.
- Smith M.O. & Teeter R.G., 1987. Potassium balance of the 5 to 8 week-old broiler exposed to constant heat or cycling high temperature stress and the effects of supplemental potassium chloride on body weight gain and feed conversion. Poultry Science, 66 487-492.
- Smith M. O. & Teeter R. G. 1992. Effect of Potassium Chloride supplementation on growth of heat-distressed broilers. Journal of Applied poultry Research. 1, 321-324.
- Smith M.O. & Teeter R. G., 1993. Carbon Dioxide, Ammonium Chloride, Potassium Chloride, and performance of heat distressed broilers. Journal of applied Poultry. Research. 2, 61-66.
- Smith, M.O. (1994) : Effects of electrolytes and lighting regimen on growth of heat distressed broilers. Poultry Science 83. 350-353 .
- Souilem O., Bouzouaia M.,& Gogny M., 2000. Place des modificateurs de l'équilibre acido-basique dans la thérapeutique du stress thermique chez les volailles. Volaille de Tunisie Revue Scientifique, technique du secteur avicole en Tunisie, 22(11). (<http://www.gipaweb.com.tn>)
- Soutyrine A.G., Smith M.O., Sivanadia B., 1998. Feed Withdrawal, Potassium, Chloride And Carbonted Water Effect On Broiler Thermotolerance. Journal of Applied poultry Research.7. 138-143.
- Stillborn H. L., Harris G. C., Bottje W. G, & Waldroup P. W., 1988. Ascorbic acid and acetylsalicylic acid (aspirin) in the diet of broilers maintained under heat stress conditions. Poultry Science. 67, 1183–1187.

T

- 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, 109 pages.
- Temim S., Chagneau AM., Guillaumin S., Michel J., Persson R., & Tesseraud S., 2000. Does excess dietary protein improve growth performance and carcass characteristics in heat-exposed chicken?. *Poultry Science*, 79(3), 312-319.
- Teeter R.G., Smith M. O., Owens F.N., & ARP S.C., 1985. Chronic heat stress and respiratory alkalosis: Occurrence and treatment in broiler chicks. *Poultry Science*. 64, 1060-1064.
- Teeter RG & Smith mo., 1986. High chronic ambient temperature stress effects on broiler acid-base balance and their response to supplemental ammonium chloride, and potassium carbonate. *Poultry Science*. 65(9), 1777-1781.
- Tumova E., Skrivan M., Skrivanova V. & kacarovska., 2002. Effect of early feed restriction on growth in broiler chickens, turkeys and rabbits. *Czech Journal of Animal Science*. 47, (10), 418-428.
- Turkyilmaz M. K., 2008. The Effect of stocking Density on Stress Reavtion in Broiler chickens during Summer. *Turkish. Journal. Veternery. Animal..Science*, 32(1), 31-36.

U

- Urdaneta-Rincon M. & Leeson S., 2002. Quantitative and Qualitative Feed Restriction on Growth Characteristics of Male Broiler Chickens. *Poultry Science* 81, 679–688.

V

Valancony H., 1997. Les moyens de lutte contre le coup de chaleur. Deuxièmes Journées De La Recherche Avicole, Tours. 8-10 avril 1997, 153-160.

Vathana S., Kang K., Loan C. P., Thinggaard G., Kabasa J. D., Ter Meulen U., 2002 : Effect of Vitamin C Supplementation on Performance of Broiler Chickens in Cambodia. Conference on International Agricultural Research for Development Deutscher Tropentag .Witzenhausen, October 9-11.

W

Waibel P.E., MacLeod M.G., 1995. Effect of cycling temperature on growth, energy metabolism and nutrient retention of individual male turkeys. *British Poultry Science*. 36, 39-49. (Abstract)

Wiernusz, C.J., Teeter, R.G., 1995. Nicarbazin effects on broiler thermobalance during high ambient temperature stress. *Poultry Science*. 74, 577–580.(Abstract)

Y

Yahav S. and Hurwitz S. 1996. Induction of thermotolerance in male broiler chickens by temperature conditioning at an early age. *Poultry Science*. 75. 402-602

Yahav S. Straschnow A., Plavnik I. & Hurwitz S., 1997. Blood System Response Of Chickens To Changes In Environmental Temperature. *Poultry Science*, 76, 627-633.

Yahav S., Straschnow A., Luger D., Shinder D., Tanny J., & Cohen S., 2004. Ventilation, Sensible Heat Loss, Broiler Energy, and Water Balance Under Harsh Environmental Conditions. *Poultry Science* 83:253–258

Yalçın S., zkan S. O., Oktay G., abuk M. C., Erbayraktar Z & Bilgili S.F., 2004. Age-Related Effects of Catching, Crating, and Transportation at Different Seasons on Core Body

Temperature and Physiological Blood Parameters in Broilers. Journal Applied Poultry. Research. 13. 549–560

Yenisey C., Seyrek K., Serter M., Kargin-kiral F. & Bardakcioglu H.E., 2006. Effects of Dietary Vitamin C Supplementation on Glutathione, Malondialdehyde and Nitric Oxide Concentrations in brain and heart of Laying Japanese Quails Exposed To Heat Stress (34.8°C).Revue medicine veterinaire. 157, 3, 149-152.

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

Z

Zhou W., Fusita M. & Yamamoto S., 1997. Effect of early heat exposure on thermoregulatory responses and blood viscosity of broilers prior to marketing. British. Poultry Science, 38, 301-306.

Zulkifli C. N., Chong, & Loh., 2000. Heterophil to Lymphocyte Ratio and Tonic Immobility Reactions to Preslaughter Handling in Broiler Chickens Treated with Ascorbic Acid. Poultry Science 79, 402–440.

References internet

Ghislaine R., 2000. Chaleur, à nous deux ! Publié dans *Le Bulletin des agriculteurs* de mai 2000.

http://www.lebulletin.com/magazine/sommaire/show_magazine.jsp?issue=20020501

Ghislaine R., 2002. Jamais sans leur eau. Publié dans *Le Bulletin des agriculteurs* de juin 2002. [http:// www.le bulletin.com/magazine/sommaire/show_magazine](http://www.lebulletin.com/magazine/sommaire/show_magazine)

Annexes

ANNEXE 1 : Fiche technique du kit pour dosage d'hémoglobine

SPINREACT

Quantitative determination of hemoglobin

IVD

Store at 2-8°C

PRINCIPLE OF THE METHOD

Hemoglobin is oxidized by potassium ferricyanide into methaemoglobin, which is converted into cyanomethaemoglobin, by potassium cyanide.

The intensity of the color formed is proportional to the hemoglobin concentration in the sample^{1,2}.

CLINICAL SIGNIFICANCE

The hemoglobin is a protein that contains iron and that the red color to the blood. The hemoglobin is in red globules and it is the one in charge of oxygen transport by the blood from the lungs to tissues. When the level of hemoglobin appears underneath the normal levels is describing an anemia that can be of different origins: primary anemia, cancer, pregnancy, renal diseases, and hemorrhages.

If the hemoglobin levels appear high it can be due to: cardiopathies, dehydration and stays in places of Met altitude^{3,6}. Clinical diagnosis should not be made on a single test result it should integrate clinical and other laboratory data.

REAGENTS

	Potassium ferricyanide	0.60 mmol/L
HEMOGLOBIN 50x	Potassium cyanide	77 mmol/L
	Dihydrogen potassium phosphate	2 mmol/L
HemOGLOBIN ICAL	Hemoglobin Standard	15 g/dL
	Animal origin	

PRECAUTIONS

Potassium cyanide: Harmful (Xn): R261/271/28: Very toxic by inhalation, in contact with skin and if swallowed. R32: Contact with acids liberates very toxic gas,

Environmentally dangerous (N) R52/53: Harmful to aquatic organisms, may cause long-term adverse effects in the aquatic environment.

S7: Keep container tightly closed. **S28:** Alter contact with skin, wash immediately with plenty of water. **S29:** Do not empty into drains. **S45:** In case of accident or if you feel unwell, seek medical advice immediately. **S60:** This material and its container must be disposed of as hazardous waste. **S61:** Avoid release to the environment. Refer to special instructions/safety data sheets.

Cyanide (poison): The amount of cyanide in the Reagent Concentrate (50x) is appreciably less than the minimum lethal dose for an adult. Gaseous hydrogen cyanide will be released on contact with acids.

PREPARATION

Working reagent (WR):

- For 5 mL 4.9 mL of distilled water + 2 drops of reagent
- For 250 mL 245 mL of distilled water + 1 vial (5 mL) of Reagent

Mix well.

Stability: 2 months at 2-8°C, protected from the sunlight.

STORAGE AND STABILITY

All the components of the kit are stable until the expiration date on the label when stored tightly closed at 2-8°C, protected from light and contaminations prevented during their use.

Do not use reagents over the expiration date.

Signs of reagent deterioration:

- Presence of particles and turbidity.
- Blank absorbance (A) at 540 nm 0.01.

ADDITIONAL EQUIPMENT

- Spectrophotometer or colorimeter measuring at 540 nm,

matched cuvettes 1.0 cm light path.

General laboratory equipment.

SAMPLES

Venous or capillary blood.

Use anticoagulants like EDTA, heparin or oxalate,

Stability of the sample: 1 week at 2-8°C.

Hemoglobin

Drabkin. Colori

PROCEDURE

1. Assay conditions.

Wavelength: 540 nm

Cuvette: 1 cm. light path

Temperature 15-25°C

2. Adjust the instrument to zero with distilled water.

3. Pipette:

	Blank	Standard	Sample
LWR (mL)	5.0	5A	5.0
Hemoglobin CAL	--	20	--
Sample (14)	...	---	20

4. Mix and incubate for 3 min. at room temperature (15-25°C).

5. Read the absorbance (A) of the samples and calibrator, against the Blank.

CALCULATIONS

- With factor:

(A) Sample x 36.77 = g/dL hemoglobin in the sample

With calibrator:

(A) Sample x 15 (Standard conc.) = g/dL hemoglobin in the sample

(A) Standard

QUALITY CONTROL Each laboratory should establish its own Quality Control scheme and corrective actions if controls do not meet the acceptable tolerances,

REFERENCE VALUES'

Men 14 - 18 g/dL e 8.7 - 11.2 mmol/L

Women 12 - 16 g/dL e 7.5 - 9.9 mmol/L

These values are for orientation purpose; each laboratory should establish its own reference range.

PERFORMANCE CHARACTERISTICS

Measuring range: From detection limit of 0.1 g/dL to linearity limit of 20 g/dL.

If the results obtained were greater than linearity limit, dilute the sample 1:12 with NaCl 9 g/L and multiply the result by 2.

Precision:

	Intra-assay (n=20)		Inter-assay (n=20)	
Mean (g/dL)	8.00	15.2	7.81	15.1
SD	0.29	0.33	0.19	0.26
CV (%)	3.59	2.19	2.51	1.74

Sensitivity: 1 g/dL = 0.027 A.

Accuracy: Results obtained using SPINREACT reagents did not show systematic differences when compared with other commercial reagents. The results of the performance characteristics depend on the analyzer used.

INTERFERENCES

A list of drugs and other interfering substances with hemoglobin determination has been reported by Young et al.¹,

NOTES

SPINREACT . Has instruction sheets for several automatic analyzers. Instructions for many of them are available on request.

BIBLIOGRAPHY

1. Franco R S. Hemoglobin. Kaplan A et al. Clin Chem The C.V. Mosby Co. St Louis. Toronto. Princeton 1984; 1294-1296 and 418.
2. Van Kampen EJ et al. Standardization of hemoglobinometry Clin. Chim 1961; 438-544.
3. Young DS. Effects of drugs on Clinicat Lab. Tests, 4th ed AACC Press, 1995.
4. Young OS. Effects of disease on Clinicat Lab. Tests, 4th ed. AACC 2001.
5. Burtis A. et al Tietz Textbook of Clinicat Chemistry, 3rd ed. AACC 1999.
6. Tietz N W et al. Clinicat Guide to Laboratory Tests. 3rd ed. AACC 1995.

Résumé. Cette étude a pour but de déterminer, chez le poulet de chair, l'impact de l'addition d'acide ascorbique (C), d'électrolytes (E) NaHCO₃ et KCl ou d'acide acétique (V) dans l'eau de boisson en association avec un retrait d'aliment (R) de 8 heures, sur la croissance et la thermo-tolérance du poulet de chair élevé en ambiance chaude.

Huit cent quatre-vingt (880) poulets de 29 jours d'âge de souche ISA J15 sont repartis en quatre groupes de poids homogène (T, ER, VR et CR) de 5 répétitions chacun (22 mâles et 22 femelles), et exposés à un stress thermique chronique (31°C) entre J28 et J50, et à un stress thermique aigu (37°C) provoqué à J52.

Les traitements n'ont pas eu d'effet significatif sur les performances de croissance et la qualité de la carcasse. En revanche, le ratio consommation eau /consommation aliment augmente chez les lots ER et VR. Les traitements n'ont pas entraîné une correction de l'équilibre hémostatique (Hématocrite, Hémoglobine, équilibre électrolytique) chez le poulet, mais ont permis d'une part, une légère baisse de la température rectale, et d'autre part une diminution significative du ratio Hétérophiles/Lymphocytes (P<0,05) indiquant une bonne réponse immunitaire des poulets supplémentés en acide acétique et en électrolytes particulièrement. Lors du stress thermique aigu, les traitements ont permis de diminuer fortement la mortalité (50%), alors que celle-ci n'a pas été modifiée par les traitements lors du stress thermique chronique.

Dans nos conditions, l'amélioration relative de la croissance obtenue a été probablement limitée par l'application de la restriction alimentaire. De ce fait, il serait intéressant d'évaluer l'impact de ces additifs lorsqu'ils sont utilisés seuls.

Mots clefs : Stress thermique, poulet de chair, acide ascorbique, électrolytes, acide acétique, retrait d'aliment, performances zootechniques, mortalité, équilibre acido-basique, cellules sanguines, H/L, température rectale.

Abstract. The aim of this study is to determine the effect of the addition of ascorbic acid (C), electrolytes (NaHCO₃ + KCl) (E) or acetic acid (V) in the drinking water along with a food withdrawal period (R) of 8 hours, on the growth and the thermo-tolerance of broiler chickens raised in a hot environment.

Eight hundred and eighty (880) ISA J15 chickens aged 29 days were divided into 4 groups (T, ER, VR and CR) with homogenous weight, each including 5 repetitions (22 males and 22 females). All groups were exposed to a chronic heat stress (31°C) during the experimental period between day 28 and day 50 of age, followed by an acute heat stress (37°C) induced on day 52 (d52).

The experimental treatments did not have a significant effect on the performances of growth and quality of the carcass. On the other hand, the ratio consumption water /consumption food increases in batches ER and VR. The treatments did not involve a correction of haemostatic balance (Hematocrit, Hemoglobin, electrolytic balance) in heat-exposed chickens, but allowed on the one hand, a slight decrease of the rectal temperature, and on the other hand a significant reduction of the ratio H/L (P<0.05) which indicates a good immunity response in the chickens particularly those supplied with acetic acid and electrolytes. During the acute heat stress, the treatments have led to a significant decrease in mortality (50%), while this latter was not modified by the treatments throughout the period of the chronic heat stress.

In our conditions, the limited improvement in growth observed was probably related to the food restriction applied on the chickens. Consequently, it would be interesting to evaluate the effect of these additives when they are administered alone.

Key words: Thermal stress, broiler chickens, ascorbic acid, electrolytes, acetic acid, food withdrawal, zootechnical performance, mortality, acid-basic balance, blood cells, H/L, rectal temperature.

ملخص: تهدف هذه الدراسة إلى تحديد اثر كل من حمض الاسكوربيك، الشوارد و حمض الخل عند إضافتها في مياه الشرب لدى دجاج اللحم، الممنوع من الطعام لمدة 8 ساعات الأكثر حرارة في اليوم؛ على النمو و المقاومة الحرارية عند دجاج مربي في جو حار.

ثمان مئة و ثمانين صوص من سلالة ISA J15 عمرها 29 يوم، قسمت على أربع أفواج متساوية الوزن (T، ER، VR، CR)، بتكرار 5 مرات؛ يعرض الدجاج خلال هذه التجربة لإجهاد حراري مزمن (31°C) خلال الفترة التجريبية الممتدة من اليوم 28 إلى اليوم 50، و إجهاد حراري حاد (37°C) مفتعل في اليوم (52) العلاج لم يؤثر تأثيراً واضحاً على فعالية النمو و نوعية الذبيحة؛ بالمقابل، المعامل استهلاك الماء/استهلاك الغذاء ارتفع عند كل من الفوجين VR و ER. العلاج لم يؤدي إلى تصحيح التوازن الهيماتوستاتيكي (Hct، Hb)، التوازن الشاردي) عند الدجاج؛ لكن أدى من جهة إلى انخفاض بسيط (غير دال) لدرجة حرارة المستقيم، و من جهة أخرى إلى انخفاض واضح للمعامل H/L (P<0,05) ما يدل على استجابة مناعية جيدة للدجاج المعالج بحمض الخل و بالشوارد خاصة. خلال الإجهاد الحراري الحاد، العلاج أدى إلى انخفاض كبير في نسبة الوفيات (50%)، علماً أن هذه النسبة لم تتغير مع استخدام العلاج خلال الإجهاد الحراري المزمن.

من الضروري لفت الانتباه إلى أن التحسن النسبي في النمو الناتج عن التجربة التي قمنا بها، قد يكون محدوداً بسبب تطبيق تقنية منع الطعام، من أجل هذا سيكون من المهم تقييم هذه الإضافات لوحدها.

الكلمات المفتاحية: إجهاد حراري، دجاج اللحم، حمض الاسكوربيك، الشوارد، حمض الخل، منع الطعام، خصائص الإنتاج، نسبة الوفيات، التوازن الحمضي القاعدي، الخلايا الدموية، H/L، حرارة المستقيم.