

Mémoire

Pour l'obtention du Diplôme de

Magistère en Sciences Vétérinaires

Option : Elevage et Pathologie Avicole et Cunicole

**Effets d'une alimentation séquentielle à base d'orge grains entiers
associée à une supplémentation alimentaire en enzymes
sur les paramètres zootechniques et physiologiques du poulet de chair**

Présenté Par :

Dr. DOUMANDJI Waffa

Soutenu le 07 février 2011

Devant le Jury :

Dr. Badis BENDEDDOUCHE	Maître de Conférences A	ENSV, Alger	Président
Pr. Soraya TEMIM	Professeur	ENSV, Alger	Promoteur
Pr. Hacina AIN BAZIZ	Professeur	ENSV, Alger	Examineur
Dr. Dalila BOUDOUMA	Maître de Conférences A	ENSA, Alger	Examineur
Dr. Djamel KHELEF	Maître de Conférences A	ENSV, Alger	Examineur

Année Universitaire 2010/ 2011

A la mémoire de mon cher ADEL,

un ange qui est parti trop tôt, que dieu ait son âme.

A la mémoire de nos chers parents qui nous ont aimés, chéris et qui se sont sacrifiés pour le bonheur et la réussite de leurs enfants. Vous resterez ancrés à tout jamais dans nos cœurs. Je vous remercie d'avoir fait de moi ce que je suis.

A GAMRA,

mon modèle de générosité, d'abnégation, de courage, d'amour et d'endurance à qui je dois tout et qui reste pour moi un idéal sur tous les plans.

A mon adorable promotrice Mme TEMIM SORAYA

et à Melle AN BAZIZ HACMA pour leur précieuse aide, pour leur infinie disponibilité et surtout pour leur immense patience.

A tous mes frères et à toutes mes sœurs

particulièrement ANISSA et ASMATHAN.

A tous mes neveux et nièces

notamment AMIR, SKANDER

et notre bout de chou adoré SAMAR.

A tous ceux qui m'ont soutenue

MERCI

Cette expérimentation a été réalisée au sein de la Station des Monogastriques de l'Institut Technique des Elevages (ITELV) de Baba Ali, Alger. A cet effet, je tiens à remercier vivement son Directeur, Dr Ahmed BOUDJENAH, qui m'a généreusement ouvert les portes de l'institut, ainsi que tous les membres du Service Avicole, dirigé par Mr Hocine BOUDINA : Mme Fadela AZZOUNI, Mlle Mounira SAIS, Mr Fayçal TETAH, Mr Sid Ali ACHOURI et Mr Slimane ARABA qui ont participé au bon déroulement de l'essai.

Je remercie Dr Badis BENDEDDOUCHE d'avoir accepté de présider le jury de ce modeste travail. Je remercie également Pr. Hacina AINBAZIZ, Dr Dalila BOUDOUMA & Dr Djamel KHELEF d'avoir accepté d'examiner cet ouvrage.

Mes vifs remerciements vont aussi à ma promotrice Pr. Soraya TEMIM pour m'avoir encadrée et surtout secondée tout au long de ce travail.

Je tiens aussi à exprimer mes sincères remerciements à Mme Linda SAHRAOUI, Mme Baya DJELLOUT pour leurs précieuses contributions et leurs importantes recommandations en microbiologie et en sérologie. Merci également à Mr Rachid KADDOUR pour l'aide fournie lors des prélèvements des tissus.

Mes remerciements vont aussi, au Docteur Nacéra TOUARIGT de l'Institut PASTEUR d'Alger qui a mis à ma disposition les produits nécessaires pour la réalisation de l'étude bactériologique. Je remercie également le Directeur de la société BIOLAB Vétérinaire pour la fourniture gracieuse du complexe enzymatique utilisé au cours de cet essai.

Je voudrai remercier toute ma famille pour m'avoir épaulée et encouragée à reprendre les études supérieures particulièrement ma sœur GAMRA qui a constamment été là et a cru en moi notamment après mes années de galère.

A toute la promotion 2007-2008 des 2 options « élevage et pathologies avicole et cunicole » et « nutrition et reproduction des bovins » qui m'ont beaucoup aidée et soutenue, particulièrement F. SEBAA et mon fils spirituel Rafik BELABBES. Je les remercie de tout mon cœur.

A toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail et que j'ai omis involontairement de citer le nom, je vous dis merci.

Le but de cette étude est d'évaluer l'impact d'une alimentation séquentielle (AS) à base d'orge et d'une supplémentation alimentaire en enzymes (E) sur les performances zootechniques et certains paramètres physiologiques du poulet de chair. Au total, 1680 poussins d'1 jour de souche ISA F15 ont été répartis en 4 lots expérimentaux de poids homogènes (7 répétitions de 60 sujets) : un lot témoin (**T**) nourri avec un aliment standard complet (démarrage, croissance et finition) distribué en continu durant 56 jours ; un lot (**AS**) recevant à partir du 15^{ème} jour d'âge, 2 aliments séparés et alternés (de l'orge en grains durant une séquence de 6 heures/j et l'aliment standard complet durant une 2^{ème} séquence de 18h/j) ; un lot (**E**) et un lot (**ASE**) nourris, respectivement, en continu ou en mode séquentiel, avec le même aliment standard complet supplémenté avec 0,1% d'un complexe enzymatique (xylanase, α -galactosidase, β -glucanase, protéase, pectinase et amylase).

Dans nos conditions expérimentales, avec ou sans l'incorporation d'enzymes dans l'aliment complet, l'alimentation séquentielle à base d'orge a réduit le gain de poids et le poids vif final des poulets (-5% en moyenne, $P<0,05$) mais a diminué davantage l'ingéré alimentaire (- 9% en moyenne, $P<0,05$), améliorant ainsi l'efficacité de transformation alimentaire de 4% en moyenne ($P>0,06$). En revanche, la supplémentation alimentaire en enzymes a augmenté l'ingéré alimentaire (+5%, $P<0,05$) et le gain de poids cumulé (+4%) des poulets alimentés en mode continu ($P<0,05$) ou en mode séquentiel ($P>0,07$) ce qui n'a pas modifié l'indice de conversion et l'indice de consommation alimentaires. Par ailleurs, le poids de la carcasse prête à cuire et la proportion du gras abdominal des poulets n'ont pas été modifiés par l'alimentation séquentielle ni par la supplémentation alimentaire en enzymes. Par contre, ces deux traitements ont augmenté significativement la proportion du foie (+12%) et celle du gésier (+14%) et ont amplifié le nombre total de lactobacilles digestifs (+6%, $P<0,01$). Enfin, l'alimentation séquentielle a significativement réduit les teneurs plasmatiques en glucose, urée, créatinine et triglycérides et a significativement augmenté celle du cholestérol. L'ajout d'enzymes dans l'aliment a significativement augmenté les protéinémies et les cholestérolémies des poulets et a réduit leur créatinémie et leur glycémie. Les mécanismes impliqués restent à élucider.

Mots-clés : poulet de chair, alimentation séquentielle, orge, additif enzymatique, supplémentation, performances zootechniques, carcasse, flore lactobacillaire, paramètres plasmatiques.

The aim of this study was to investigate the impact of sequential feeding (SF) incorporating whole grain barley and diet supplementation with enzymes (E) on growth performances and some physiological parameters of broiler chicken. A total of 1680 one-day-old chicks (ISA F15 strain) were equally divided into 4 experimental groups with homogeneous weights (7 replications of 60 animals): the **control group (C)** was fed with a complete standard diet adapted to the age (Starter, Growth and Finishing diets) distributed continuously for 56 days ; the **SF group** received, from the 15th day of age, 2 separated and alternated diets (whole grain barley during a sequence of 6 hours/day and the standard diet during a 2nd sequence of 18h/d); the **E group** and **ASE group** were respectively, fed, continuously or in sequential mode, with the same complete standard diet supplemented with 0.1% of a commercial enzymatic preparation containing xylanases, β -galactosidase, β -glucanase, protease, pectinase and amylase.

In our experimental conditions, with or without incorporation of enzymes in the complete diet, the sequential feeding with barley reduced the weight gain and the final live weights of chickens (-5%, $P<0.05$) and further decreased feed intake (-9%, $P<0.05$), thus improving feed efficiency transformation by about 4% ($P>0.06$). However, the addition of enzymes increased feed intake by about 5% ($P<0.05$) and cumulated weight gain (+4%) of chickens fed in continuous mode ($P<0.05$) or in sequential mode ($P>0.07$) thus did not modify the feed conversion and the feed consumption ratio. Moreover, weights of carcass and the proportion of the abdominal fat were not modified by the sequential feeding or by the feed supplementation with enzymes. However, these two treatments significantly increased the liver (+12%) and gizzard (+14%) proportions and also improved the total number of lactobacillus (6%, $P<0.01$). Finally, the sequential feeding significantly reduced the plasmatic concentration of glucose, urea, creatinine and triglycerides and significantly increased that of cholesterol. The enzymes supplementation significantly increased protein and cholesterol blood levels of chickens and reduced the plasmatic level of creatinine and glucose. However, the involved mechanisms remain to be clarified.

Keywords: broiler chickens, sequential feeding, barley, enzymatic additive, supplementation, growth performances, carcass, lactic flora, plasmatic parameters.

أن هدف عملنا هذا هو تقسيم تأثير الغذاء التسلسلي (AS) المكون من الشعير والمكملات الأنزيمية (E) والقدرات الحيوانية وبعض الخصائص الفيزيولوجية للدجاج اللحمي .

لقد تم رصد 1680 صوص بعمر يوم واحد من سلالة (ISA F15) وقسموا إلى أربع مجموعات فئات تجريبية ذات أوزان متجانسة (7 تكرارات من 60 فرد): المجموعة الشاهدة (T) التي أطعمت بغذاء نموذجي كامل مكيف على حسب العمر (بداية , نمو , نهاية), وزع بشكل مستمر لمدة 15 يوم. المجموعة (AS) التي استقبلت عن عمر 15 يوم عدائين منفصلين ومتناوبين لحبوب الشعير لفترة 6 ساعات في اليوم والغذاء الكامل المتجانس لفترة 18 ساعة في اليوم ، المجموعة (E) و المجموعة (ASE) المغذيين على التوالي بشكل مستمر ومتسلسل بنفس الغذاء الكامل والمتجانس مضاف إليه 0.1 % من خليط أنزيمي تجاري مكون من : الإكزيلاز ، الإكلاكتوزيداز ، لاقلوكاناز ، بروتياز ، بكتينا زو اميلاز .

في ظروفنا التجريبية هذه، مع أو بدون إدراج الأنزيمات في الغذاء الكامل التغذية التسلسلية على أساس الشعير أخفضت الزيادة في الوزن والوزن الحي النهائي للدجاج بمعدل (-5% ; $p < 0.05$) لكن بمقابل أخفضت الاستهلاك الغذائي بمعدل (-9% $p < 0.05$) مما حسن كفاءة التحويل الغذائي (+4% $p > 0.06$) ومع ذلك المكملات الغذائية الأنزيمية حسنت في نسبة الاستهلاك الغذائي (+5% $p < 0.05$) وزادت في الوزن التراكمي (+4%) للدجاج المغذي بشكل مستمر (5% $p < 0.05$) أو بشكل تسلسلي (0.07% $p < 0.07$). مما أدى إلى عدم تغير مؤشر التحويل ومؤشر الاستهلاك الغذائي أيضاً ، وزن الذبيحة الجاهزة للطهي لنسبة الدهون الباطنية لمنطقة البطن ، لم يتم تغييرها لا من طرف الغذاء التسلسلي ولا من طرف المكملات الغذائية الأنزيمية . لكن هذان النظامان الغذائيين أديا إلى زيادة كبيرة في نسبة الكبد (+12%) والأحشاء (+14%) وبالمثل العدد الإجمالي الأكتوباسيل الهضمية كان أكثر بنسبة لكلا النظامان الغذائيين (+6% $p < 0.01$) وأخيرا الغذاء التسلسلي أدى إلى انخفاض كبير في نسبة الغلوكوز حمض اليوريا ، الكرياتينين ، ثلاثي الغليسريد ، وإلى ارتفاع في نسبة الكولستيرول ، إضافة الأنزيمات إلى النظام الغذائي أدى إلى زيادة كبيرة في نسبة البروتين والكولسترول في الدم وإلى انخفاض في نسبة الكرياتين والغلوكوز الآليات المشاركة تبقى للتوضيح .

الكلمات /المفاتيح : الدجاج اللحمي , الغذاء التسلسلي , الشعير , المكملات الأنزيمية , القدرات الحيوانية , مردود الذبيحة الأكتوباسيل , الخصائص البلاسمية

Etude bibliographique

Figure 1. Principaux modes de distribution alimentaires alternatifs à l'aliment complet unique.....	3
Figure 2. Facteurs modifiant les choix alimentaires du poulet de chair.....	8
Figure 3. Orge commune.....	14
Figure 4. Impact des enzymes (xylanase, glucanase) seules ou en association sur la viscosité de différentes matières premières	20

Matériels et méthodes

Figure 5. Schéma du protocole expérimental.....	25
Figure 6. Cycle de distribution séquentielle des aliments	28
Figure 7. Vues (extérieure et intérieure) du bâtiment d'élevage	29

Résultats

Figure 8. Mortalité (%), par phase d'élevage et cumulé, des poulets	40
Figure 9. Evolution du poids vif moyen, entre l'âge de 1 et 56 jours.....	42
Figure 10. Gain de poids moyen, par phase d'élevage et cumulé.....	42
Figure 11. Ingéré alimentaire moyen, par phase d'élevage et cumulé.....	44
Figure 12. Indice de consommation et indice de conversion alimentaires.....	46
Figure 13. Caractéristiques de la carcasse mesurées à l'âge de 56 jours	48
Figure 14. Nombre total de lactobacilles mesurés à l'âge de 56 jours	50
Figure 15. Teneurs plasmatiques en glucose, cholestérol, triglycérides, urée, créatinine et protéines totales, mesurées à l'âge de 56 jours	52

Etude bibliographique

Tableau 1. Composition chimique de différentes variétés d'orge locales (en % de la MS).....	15
Tableau 2. Digestibilité comparée des protéines de l'orge et du maïs.....	16
Tableau 3. Comparaison des principaux nutriments dans les matières premières du poulet de chair.....	19
Tableau 4. Effet d'une supplémentation en enzymes NSP multi-activités sur les performances du poulet de chair avec différents types d'aliments.....	21

Matériel et Méthodes

Tableau 5. Composition et caractéristiques de l'aliment « Démarrage » distribué entre J1 et J10 aux 4 groupes expérimentaux.....	26
Tableau 6. Composition et caractéristiques de l'aliment « Croissance » distribué, entre J11 et J42, aux 4 groupes expérimentaux.....	27
Tableau 7. Composition et caractéristiques de l'aliment « Finition » distribué, entre J43 et J59, aux 4 groupes expérimentaux.....	27
Tableau 8. Les températures ambiantes selon l'âge des sujets.....	30
Tableau 9. Programme de prophylaxie appliqué durant l'essai.....	31

Résultats

Tableau 10. Taux de mortalité, par phase d'élevage et cumulé	39
Tableau 11. Poids vif moyen et gain de poids moyen, par phase d'élevage et cumulé.....	41
Tableau 12. Ingéré alimentaire moyen, par phase d'élevage et cumulé.....	43
Tableau 13. Indice de consommation et indice de conversion alimentaires, par phase d'élevage et cumulé.....	45
Tableau 14. Caractéristiques de la carcasse mesurées à l'âge de 56 jours	47
Tableau 15. Nombre total de lactobacilles mesurés à l'âge de 56 jours	49
Tableau 16. Teneurs plasmatiques en glucose, cholestérol, triglycérides, urée, créatinine et protéines totales, mesurées à l'âge de 56 jours	51

Introduction Générale	1
Etude Bibliographique	3
I. Généralités sur les différents modes d'alimentation du poulet de chair.....	3
II. Modalités d'application de l'alimentation séquentielle	5
II.1. Impact de la durée des cycles alimentaires.....	5
II.2. Impact de la composition des aliments séquentiels.....	6
II.3. Impact sur le comportement alimentaire et la physiologie du poulet.....	8
II.4. Alimentation séquentielle en conditions tropicales.....	12
II.5. Alimentation séquentielle à base de céréales graines entières.....	13
III. Utilisation de l'orge dans l'alimentation du poulet.....	14
III.1. Présentation de l'orge.....	14
III.2. Composition chimique de l'orge.....	15
III.3. Valeur nutritive de l'orge.....	16
III.4. Effets de l'incorporation de l'orge dans l'aliment du poulet de chair.....	17
IV. Valorisation de l'orge par l'emploi d'additifs enzymatiques.....	18
IV.1. Données générales sur les enzymes utilisées dans l'aliment du poulet	18
IV.2. Amélioration de la valeur nutritive de l'orge par les additifs enzymatiques	21
Matériel et méthodes	24
I. Lieu, période et durée de l'essai.....	24
II. Animaux.....	24
III. Traitements expérimentaux.....	24
IV. Aliments.....	26
IV.1. Composition et caractéristiques des aliments de base utilisés.....	26
IV.2. Modalités de la supplémentation en enzymes.....	28
IV.3. Modalités de l'alimentation séquentielle à base d'orge.....	28
V. Bâtiment, paramètres d'ambiance et équipements d'élevage.....	29
V.1. Bâtiment.....	29
V.2. Programme de température et éclairage.....	30

V.3. Equipements d'élevage.....	30
VI. Programme de prophylaxie.....	31
VII. Paramètres mesurés.....	31
VII.1. Mesure des performances zootechniques.....	31
VII.1.1. Poids vif moyen.....	31
VII.1.2. Gain de poids.....	31
VII.1.3. Ingéré alimentaire.....	32
VII.1.4. Indice de consommation et de conversion alimentaires.....	32
VII.1.5. Taux de mortalité.....	32
VII.2. Mesure des caractéristiques de la carcasse.....	32
VII.3. Mesures des paramètres métaboliques sanguins.....	33
VII.3.1. Prélèvements de sang.....	33
VII.3.2. Dosage du cholestérol.....	33
VII.3.3. Dosage des triglycérides.....	34
VII.3.4. Dosage des protéines totales.....	34
VII.3.5. Dosage du glucose.....	35
VII.3.6. Dosage de l'urée.....	35
VII.3.7. Dosage de la créatinine.....	36
VII.4. Etude de la flore lactobacillaire digestive.....	37
VIII. Analyse statistique.....	37
Résultats	39
I. Performances zootechniques.....	39
I.1. Mortalité.....	39
I.2. Poids vif et gain de poids.....	40
I.3. Consommation alimentaire.....	43
I.4. Indice de consommation et indice de conversion alimentaires.....	44
II. Caractéristiques de la carcasse.....	46
III. Flore totale de lactobacilles.....	49

IV. Paramètres métaboliques sanguins.....	50
---	----

Discussion générale	53
----------------------------	----

Conclusions et perspectives	62
------------------------------------	----

Références bibliographiques	64
------------------------------------	----

Annexe	71
---------------	----



La filière avicole nationale a connu un développement et un élan de production importants au cours de ces décennies avec une alimentation basée sur un régime exclusif maïs-soja. Ces derniers sont toutefois des matières premières dépendantes des marchés internationaux quant à leur approvisionnement. Leur prix a d'ailleurs connu ces précédentes années une forte hausse, dictée par la conjoncture économique mondiale. Ceci s'est négativement répercuté sur le coût global de l'aliment complet pour volaille. Aussi, la recherche d'autres alternatives, telles que le remplacement total ou partiel de ces deux matières premières par des ressources alimentaires locales s'impose.

Au regard des nombreux succès enregistrés dans certains élevages des pays nordiques de l'Europe, l'emploi de céréales entières (blé principalement) dans l'alimentation du poulet de chair, distribuées simultanément ou alternativement avec un aliment complémentaire, connaît actuellement un regain d'intérêt (Noirot *et al.*, 1998). Cette technique alimentaire permet, outre, une adaptation de la proportion de céréales consommées à l'âge du poulet, une diminution des coûts de stockage, de transformation et de transport des céréales lorsque ces dernières sont produites par l'aviculteur. Les essais réalisés font ressortir trois principales méthodes d'incorporation de graines entières dans l'alimentation du poulet de chair : distribution simultanée mais séparée dans l'espace, en mélange, ou séquentielle avec un aliment complémentaire (Bouvarel, 2009). Cette dernière technique, dite « alimentation séquentielle », permet en fait de distribuer de manière cyclique deux aliments différents, dont la combinaison permet des apports nutritionnels équilibrés. Ceci donne la possibilité d'introduire dans l'alimentation du poulet des matières premières intermédiaires en énergie et protéines vis-à-vis du maïs et du soja.

En Algérie, les variétés d'orge cultivées (Saïda 183, Tichdrett et Robur) peuvent substituer le maïs dans les rations alimentaires des volailles et fournir la plupart des éléments nutritifs nécessaires à la croissance du poulet de chair (Alloui *et al.*, 2003). Ayant un taux de protéines plus élevé que celui du maïs et commercialisée à un prix souvent inférieur, l'orge présente un intérêt certain en aviculture. Pourtant, actuellement, cette céréale est pratiquement exclue de la formulation des aliments pour volaille à cause de sa faible valeur énergétique liée au taux élevé en polysaccharides non amylacés (PNA), de sa forte teneur en fibres et de la présence de facteurs antinutritionnels (Jeroch *et al.*, 1995 ; Benabdeldjalil, 1999).



Or, d'autres pays, tels l'Espagne et les pays Scandinaves, incorporent cette céréale dans les aliments de volaille en substitution quasi totale du maïs importé moyennant l'addition de matières grasses et de complexes enzymatiques (Brufau de Barbera, 1986). En effet, l'utilisation des additifs enzymatiques qui présentent un large spectre d'activité permet de mieux valoriser les matières premières incorporées dans l'aliment-volailles, notamment l'orge et le blé, en réduisant la viscosité associée à une accélération du transit digestif, ce qui réduit les proliférations microbiennes au niveau iléal et donc l'absorption des nutriments par la microflore (Scott *et al.*, 2001 ; Uzu et Sassi, 2005).

Actuellement, dans la pratique avicole nationale, la distribution continue d'aliments complets uniques, adapté au stade physiologique du poulet (démarrage, croissance et finition), est le mode alimentaire quasi exclusif observé chez nous. Aussi, les autres techniques alimentaires alternatives n'ont pas été à ce jour explorées dans nos élevages. De plus, l'incorporation de la céréale orge en l'état dans l'aliment volaille n'est pas pratiquée à notre connaissance et l'impact de l'ajout d'enzymes dans ces conditions n'a pas fait l'objet d'essais expérimentaux locaux.

Dans ce contexte, l'objectif de notre étude est de préciser, dans nos conditions expérimentales l'impact d'une distribution de grains d'orge entiers en alternance avec un aliment standard complet, supplémenté ou non avec des additifs enzymatiques, sur les paramètres zootechniques et sur quelques paramètres physiologiques du poulet de chair durant un cycle d'élevage complet.

La première partie de ce mémoire est consacrée à l'étude bibliographique qui détaillera, d'abord, l'alimentation séquentielle et les différentes modalités de son application, puis présentera, en seconde partie, des données générales sur l'orge (composition et valeur nutritive de cette céréale) et l'impact de son utilisation dans la ration des poulets de chair. La dernière partie de la bibliographie abordera l'emploi des additifs enzymatiques pour valoriser les matières premières alimentaires du poulet de chair.

La seconde partie du manuscrit présentera notre étude expérimentale, menée à l'ITELV de BABA-ALI (Alger). La méthodologie et le protocole utilisés sont d'abord globalement décrits, puis les résultats obtenus sont présentés et discutés.



Dans la conclusion générale, nous faisons le point des idées acquises et des perspectives envisageables à l'issue de ce travail.



I. Généralités sur les différents modes d'alimentation du poulet de chair

Dans les pratiques actuelles d'élevage avicole, les poulets de chair sont nourris, durant tout le cycle, avec des aliments complets dont la composition est adaptée au stade physiologique de l'animal. Cette technique d'alimentation fait partie de l'ensemble des facteurs d'homogénéisation de l'environnement des volailles : prise alimentaire, température, espace, éclairage... (Picard *et al.*, 1999).

D'autres méthodes alimentaires, alternatives à l'aliment complet unique, offrent des conditions d'alimentation plus variées en mettant à disposition de l'animal, non pas « un » mais « des » aliments distribués simultanément en mélange ou séparément dans l'espace ou le temps avec un aliment complémentaire (Bouvarel, 2009). Ces techniques sont toutes basées sur un choix plus ou moins dirigé de l'animal dans l'espace, le temps ou par tri particulière (Figure 1): le mélange, l'alimentation séparée et l'alimentation séquentielle (Noirot *et al.*, 1998).

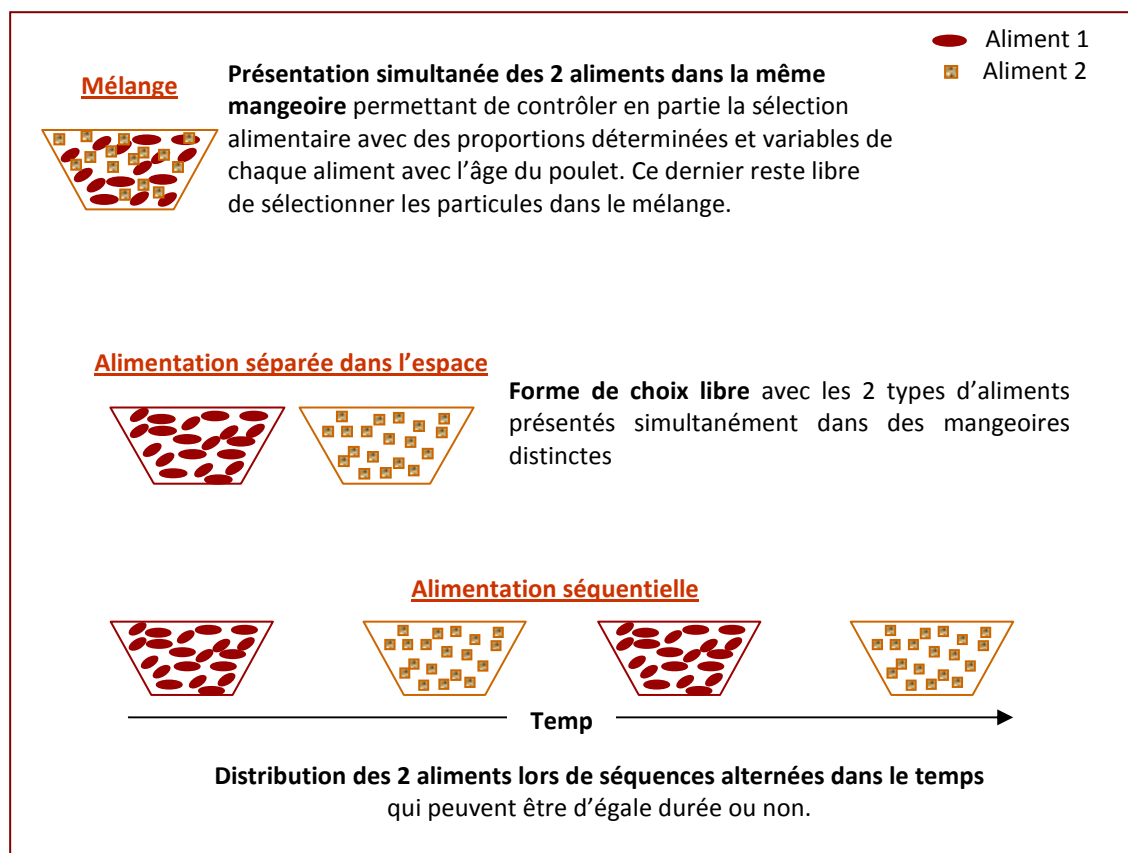


Figure 1. Principaux modes de distribution alimentaires alternatifs à l'aliment complet unique (adapté de Noirot *et al.*, 1998).



La méthode de mélange de céréales entières (blé, orge) avec un aliment complémentaire permet de diminuer les coûts de stockage, de fabrication et de transport. Cette technique, couramment pratiquée en Europe du Nord, est plus rare en France où elle est surtout appliquée dans le sud-ouest pour l'alimentation de poulets Label à croissance lente (maïs broyé mélangé à un aliment complémentaire commercial) (Noirot *et al.*, 1998).

La technique de mélange de céréales en l'état a pour avantage le contrôle de la composition de l'ingéré global et sa modulation en fonction de l'âge des poulets et des performances de croissance. Ces dernières sont le plus souvent comparables à celles obtenues avec un aliment complet unique (Leeson et Caston, 1993 ; Covasa et Forbes, 1994 ; Rose *et al.*, 1995). Néanmoins, le tri particulier, susceptible d'être opéré par les poulets, peut rapidement devenir un facteur limitant des performances (Noirot *et al.*, 1998 ; Chevalier *et al.*, 2007).

La méthode d'alimentation séparée ou en libre choix est basée sur la distribution simultanée de deux aliments, séparés dans l'espace. Cette technique donne des résultats très variables en termes de performances de croissance, de qualité de carcasse et de niveau de consommation de chaque aliment. Elle ne permet pas toujours au poulet de se constituer spontanément un régime optimum au sens des intérêts de l'éleveur (majoration du poids et de l'efficacité alimentaire ; limitation de l'état d'engraissement) (Bouvarel, 2009).

Dans ce type d'alimentation, le rapport énergie/protéines du régime effectivement ingéré par le poulet est souvent supérieur à celui observé avec l'aliment complet. Ceci induit alors une baisse de la vitesse de croissance (Yo *et al.*, 1997) ou une augmentation de la proportion de gras abdominal (Leeson et Caston, 1993). Dans ces études, l'origine des variations de choix des poulets n'est pas élucidée vu la concomitance des variations en énergie et en protéines. La capacité d'ajustement précis de la consommation d'énergie par les poulets est toutefois possible lors de distribution d'aliments variant en teneur énergétique uniquement et sur une longue période (7 à 49 jours d'âge) (Leeson *et al.*, 1996).

En définitif, si le principal avantage offert par la méthode d'alimentation séparée est la simplicité de son application en pratique, la sélection des 2 types d'aliments reste difficilement maîtrisable, conduisant souvent à la détérioration des résultats (Noirot *et al.*, 1998).



La technique d'alimentation séquentielle (AS) consiste à distribuer de manière cyclique et alternée deux aliments de composition nutritionnelle différente. Elle permet ainsi, contrairement aux deux autres méthodes déjà décrites, de «diriger» l'équilibre du régime, en contrôlant le temps d'accès de chacun des aliments proposés. Cette méthode a fait l'objet de différentes études avant de devenir opérationnelle (Bouvarel, 2009). Les modalités de son application et les principaux résultats zootechniques obtenus seront particulièrement exposés dans ce qui suit.

II. Modalités d'application de l'alimentation séquentielle

II.1. Impact de la durée des cycles alimentaires

Les premiers essais d'alimentation séquentielle remontent aux années 70. Une distribution alternée de deux aliments variant par leur teneur en acides aminés et la source de protéine incorporée (farine de poisson pour l'un et tourteau de tournesol pour l'autre) a permis d'évaluer l'effet de la durée des cycles de distribution alimentaires sur les résultats zootechniques des poulets (Gous et Du Preez, 1975).

Ainsi, **avec des cycles de 12 heures**, les poulets étaient capables, d'ajuster leur ingestion de façon à recevoir un apport équilibré en acides aminés. Leur croissance était similaire à celle des sujets témoins recevant un aliment en continu à teneur intermédiaire en acides aminés. En revanche, **avec des cycles de 24 heures**, la croissance des poulets était plus faible malgré le maintien du niveau d'ingestion (Gous et Du Preez, 1975).

Avec des cycles de 48 heures, une baisse de la consommation et un retard de croissance ont été observés chez des poulets âgés de 7 à 28 jours recevant des aliments riches (30%) et pauvres (12%) en protéines (Rosebrough *et al.*, 1989).

Avec des cycles plus longs (96 heures), la croissance est ralentie mais la consommation n'est pas affectée avec une distribution alternée d'aliments à teneur protéique différente (15 et 25%) (Rys et Koreleski, 1980).

Ces premières expériences suggèrent qu'un cycle de 12 heures permet une croissance comparable à celle de poulets recevant une alimentation complète. En revanche, avec des cycles plus longs (supérieurs à 24 heures), le poulet de chair présentant à cette époque une capacité de croissance plus modérée qu'actuellement n'a pas été capable d'adapter son



métabolisme à des apports alternés de protéines ou d'acides aminés très différenciés (Bouvarel, 2009).

Une étude plus récente (Forbes et Shariatmadari, 1996) basée sur une distribution alternée cyclique (24 ou 48h) de 2 aliments titrant 30 et 7% de protéines, montre qu'il n'y a pas de modifications importantes de la consommation et du gain de poids des poulets âgés de 5 à 10 semaines.

II.2. Impact de la composition des aliments séquentiels

La clef essentielle à maîtriser pour atteindre un équilibre alimentaire global avec l'AS, est la consommation de chaque aliment. Le principal problème rencontré est celui du rapport protéines/énergie du régime effectivement ingéré par le poulet. Il peut être différent de celui d'un aliment complet et ne pas permettre d'obtenir les mêmes performances de croissance et/ou des qualités de carcasse comparables.

Un essai a montré que lorsqu'une part importante de maïs concassé est consommée entre 1 et 42 jours (73 % avec un concentré de 44 % de protéines brutes), une consommation protéique inférieure de 15 % à celle du témoin recevant un aliment complet est enregistrée, les consommations d'énergie étant comparables (Noirot *et al.*, 1998). L'efficacité alimentaire, protéique ou énergétique n'est dans ce cas pas affectée par la technique du choix alimentaire, mais la vitesse de croissance des poulets est réduite de 10 % (Yo *et al.*, 1997).

Les travaux de Bouvarel *et al.* (2004) ont permis d'évaluer l'impact de la distribution séquentielle d'aliments différents par les teneurs énergétique et protéique chez le poulet à croissance rapide entre 2 et 7 semaines d'âge. Dans ces essais, une alimentation séquentielle (AS) d'un premier aliment riche en protéine et pauvre en énergie (**P**) et d'un second pauvre en protéines et riche en énergie (**E**), a été comparée à un aliment complet présentant des caractéristiques énergétique et protéique intermédiaires (50P/50E de 2 à 4 semaines et 40P/60E de 4 à 7 semaines).

Avec des cycles de 24 heures et des différences extrêmes de composition entre les deux aliments (+26% d'énergie et -70% de protéines entre P et E), l'alimentation séquentielle a diminué l'ingestion (-12%) et la croissance avec une faible consommation de l'aliment P (34% du total). Avec une fréquence des cycles doublée, l'ingestion a été similaire à celle



obtenue avec un cycle de 24 heures mais P était encore moins consommé (31% du total). Avec des différences de composition plus modérées (+12% d'énergie et -38% de protéines entre P et E), l'ingestion a été comparable à celle obtenue avec l'aliment complet, avec toujours, une faible consommation de P (35% du total). Les auteurs concluent que des courtes phases de distribution ont induit une sous consommation de l'aliment P, l'aliment E étant distribué rapidement après (Bouvarel *et al.*, 2004).

Une deuxième expérience a été par la suite menée pour évaluer l'effet de l'allongement de la durée du cycle pour accroître la consommation de l'aliment P par les poulets. Avec des cycles plus longs (48h) et des différences de composition de +15% d'énergie et de -44% de protéines entre P et E, la consommation globale, sur une période de 15 à 40 jours, a été comparable à celle obtenue avec un aliment complet. La proportion d'aliment P consommé était de 40%, donc supérieure à celle obtenue avec des cycles de 24h. De plus, l'allongement de la durée du cycle n'a pas eu d'effets délétères sur le gain de poids et l'efficacité alimentaire (Bouvarel *et al.*, 2004).

La mise en œuvre pratique de l'alimentation séquentielle avec des cycles de 48h a été validée en conditions de production, avec des différences de +20% pour l'énergie et -40% pour les protéines entre P et E. Les résultats obtenus sur huit lots de 32.500 poulets confirment les données obtenues en conditions expérimentales et indiquent que les poulets ont eu la même croissance, la même efficacité alimentaire et le même rendement en filet qu'avec un aliment complet (Bouvarel, 2009).

Finalement, l'allongement de la durée du cycle de 24 à 48h favorise la consommation de l'aliment riche en protéine et pauvre en énergie et permet d'égaliser les performances avec une alimentation complète. La consommation alimentaire semble s'ajuster à la fois sur les concentrations énergétique et protéique, en évitant un déficit énergétique et un excès de protéine.

D'après ces expériences, lorsque la consommation globale est maintenue, les poulets soumis à l'alimentation séquentielle avec des cycles de 48h, expriment la même croissance qu'avec un aliment complet, ce qui suppose une grande capacité d'adaptation du métabolisme à court terme. La nature des changements perçus par l'oiseau, le délai nécessaire à cette perception et les apprentissages générés ne sont toutefois pas bien connus.



II.3. Impact sur le comportement alimentaire et la physiologie du poulet

Confronté à différents aliments avec une égale disponibilité, le poulet au sein d'un groupe est capable de sélectionner un régime globalement équilibré (Covasa et Forbes, 1995). Le choix initial est celui de consommer ou non une particule présente dans son environnement. L'identification de l'aliment est une capacité acquise par l'apprentissage (Picard, 1997) qui permet à l'animal d'associer les critères de différenciation sensorielle (forme couleur, odeur, saveur, propriétés tactiles) et les caractéristiques nutritionnelles des aliments « goûtés » (Noirot *et al.*, 1998).

De manière générale, les choix alimentaires dépendent de 3 grands types de facteurs (Figure 2) : ceux liés à l'animal, à l'aliment et à l'environnement dans lequel le sujet est placé.

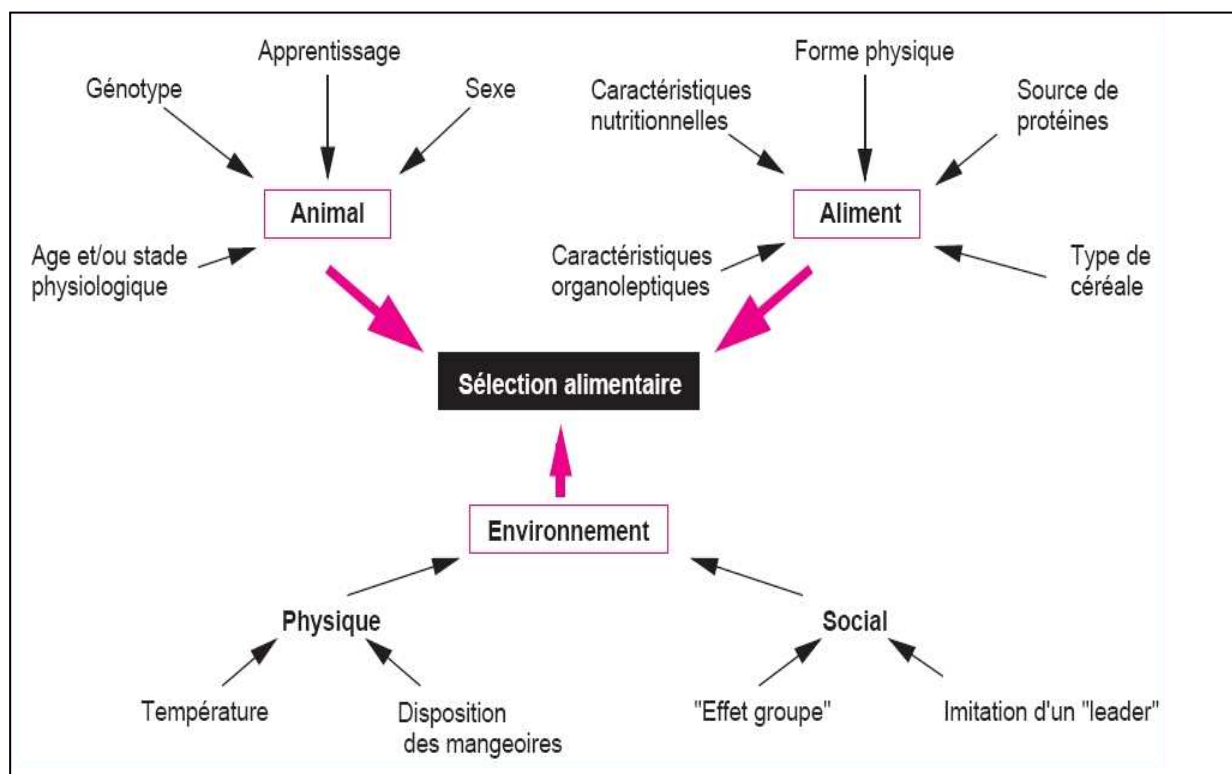


Figure 2. Facteurs modifiant les choix alimentaires du poulet de chair (Noirot *et al.*, 1998).

Ainsi, le poulet sélectionne les aliments en établissant le lien entre leurs propriétés nutritionnelles et leurs caractéristiques sensorielles perçues par la vision, l'olfaction et le toucher. La sélection dépend en partie des besoins de l'animal, qui varient selon le sexe, la souche et le stade physiologique. La capacité de choix est renforcée par une période



d'apprentissage. Le milieu de vie est aussi déterminant : la température ambiante ainsi que la situation physique des aliments offerts (mangeoires différentes ou non, position relative des mangeoires et espace relatif occupé par les différentes fractions alimentaires) modulent les choix. La vie en groupe permet une meilleure acquisition de l'aptitude à une sélection alimentaire adaptée, par imitation des congénères.

La sélection alimentaire est en définitive le résultat d'un compromis entre l'appétence relative des aliments proposés et les besoins du poulet dans un environnement donné (Noirot *et al.*, 1998). Il faut noter que l'interprétation des choix alimentaires des animaux est souvent confuse. Le « bon » choix du poulet n'est pas toujours celui qui induit la croissance maximale (Siegel *et al.*, 1997).

L'alimentation séquentielle donne la possibilité au poulet d'exprimer des tendances naturelles de consommation, contraintes néanmoins par la durée de distribution des aliments. Le poulet est en effet poussé à consommer un aliment moins préféré si la durée d'accès est longue (Noirot *et al.*, 1998).

Les travaux de thèse de Bouvarel (2009) ont examiné l'évolution de l'ingestion et du comportement alimentaire des animaux à l'échelle de la journée et ce à 2 âges différents d'introduction de l'alimentation séquentielle (10 et 18 jours) pour comprendre comment les poulets ajustent leur ingestion, et avec quel délai de réponse, en dissociant les effets propres des teneurs en énergie et en protéines. Les résultats obtenus indiquent que la réaction des poulets est différente selon l'aliment distribué et que cette dernière reflète, à l'échelle de 24h, la consommation immédiate (1h).

Les poulets réagissent de manière particulièrement marquée à la variation de concentration énergétique, avec une ingestion alimentaire supérieure de l'aliment le plus énergétique comparée à l'aliment le moins énergétique. Aussi, au sein de la journée, il n'y a pas d'adaptation de l'ingestion à la concentration énergétique de l'aliment dans un objectif d'équilibre de la balance énergétique, qui ne s'effectue qu'à l'échelle du cycle (48h) (Bouvarel, 2009).

Ces réactions semblent générées par des préférences alimentaires provenant du contact simultané et régulier avec chacun des deux aliments. Ces références pourraient être le fruit d'un apprentissage qui conduit à la reconnaissance des aliments de par leurs caractéristiques



physiques et/ou par repère temporel (Bouvarel, 2009). Ceci conforte l'idée développée par Haskell *et al.*, (2001), selon laquelle « *les poulets ont une attente vis-à-vis de leur aliment* ».

Des travaux réalisés en parallèle par Tesseraud (2008) sur ces mêmes animaux à 14 et 15 jours d'âge, indiquent qu'il existe au cours de l'alimentation séquentielle des adaptations métaboliques notables au niveau de l'utilisation ou du stockage des nutriments. La régulation de la traduction et de la protéolyse musculaire, ainsi que la lipogenèse et la lipolyse sont modifiées. Ces mécanismes d'adaptation nutritionnelle permettent certainement au poulet de chair de valoriser des régimes déséquilibrés et de satisfaire les besoins nutritionnels nécessaires à sa croissance sur le long terme.

La baisse de l'efficacité énergétique avec les aliments variant en protéines seules ou associées à l'énergie, peut s'expliquer par une plus forte utilisation de l'énergie, particulièrement pour la production de chaleur, liée par exemple à une activité plus importante, et aux réponses métaboliques. Les conséquences de ces changements sur les dépenses énergétiques sont inconnues.

Néanmoins, en situation classique d'alimentation avec un aliment présentant un ratio énergie/protéines élevé, l'excès d'énergie ingérée relativement à la teneur en protéines conduit à une augmentation de la production de chaleur et de la rétention sous forme de dépôt adipeux (Buyse *et al.*, 1992 ; Kita *et al.*, 1993 ; Swennen *et al.*, 2004).

En revanche, l'amélioration du pH ultime (24h après abattage) des filets de poulets nourris avec les alternances P+/P- (5,9 vs >6) suggère une réserve en glycogène supérieure dans les muscles au moment de la mort de l'animal et donc des réserves énergétiques musculaires plus élevées. Pour les aliments variant en énergie seule, qui n'ont pas entraîné de modification de l'efficacité alimentaire énergétique, les rapports énergie : protéines moins différents d'un jour à l'autre que pour les autres traitements, semblent moins limitant.

Chez le poulet, la réaction à court terme est beaucoup plus longue avec une variation de la teneur en protéines, comparée à la réaction résultant d'une déficience en un AAE. En situation de choix entre des aliments équilibré ou déficient (-30 ou -15%) en un acide aminé (lysine, acides aminés soufrés ou tryptophane), les poulets expriment un choix net, après deux jours, pour l'aliment équilibré (Noble *et al.*, 1993 ; Picard *et al.*, 1993).



Avec l'alternance quotidienne d'aliments supplémenté ou non en méthionine, (Picard *et al.*, 1999) indiquent que les poulets réduisent leur ingestion en moins de 4h, et après une semaine d'adaptation, en moins d'une heure.

Le niveau d'ingestion dépend de la teneur énergétique de l'aliment, l'équilibre de la balance énergétique se concrétisant par un ajustement entre l'ingestion et la concentration énergétique de l'aliment. Cet ajustement est loin d'être exact lors d'une alimentation complète chez le poulet de chair à croissance rapide, la sélection génétique ayant modifié l'expression de groupes de gènes spécifiques allant dans le sens d'une moindre sensibilité aux facteurs anorexigènes (Richards, 2003).

La théorie d'Emmans (1991) stipulant que l'animal est capable de choisir un aliment adéquat pour répondre à son objectif nutritionnel quand un choix est offert, se vérifie donc à l'échelle de 48h mais pas au sein d'une même journée. Les poulets font des ajustements « appropriés » (au sens du nutritionniste) à l'échelle de deux jours, peut-être parce que la durée du cycle de 48h permet d'orienter favorablement ce choix. Une fois reconnus, les aliments sont consommés en fonction de leur teneur en protéines, avec une surconsommation légère de l'aliment le moins protéique et une sous consommation de l'aliment le plus concentré, comme observées complète classique (Bouvarel, 2009).

La notion de «besoin alimentaire» définie par les effets des caractéristiques nutritionnelles sur la croissance et l'efficacité alimentaire a été créée par le nutritionniste qui, lui, a « besoin » de normes et cherche à contrôler la production. Le postulat de départ est bien souvent que l'animal mange pour satisfaire ses besoins et est capable de choisir ses aliments pour les satisfaire (Emmans, 2001).

Le modèle d'alimentation séquentielle utilisé dans les travaux de Bouvarel (2009) permet de montrer effectivement que les poulets sont capables d'adapter à long terme leur ingestion et consomment finalement les mêmes quantités de nutriments que les poulets nourris avec un aliment complet, considéré comme optimal du point de vue du nutritionniste. Les poulets nourris par alternance sont toutefois en situation de choix dirigé. Le cycle de 48 h assez long contraint le poulet à ne pas sur exprimer ses préférences alimentaires, comme avec des cycles de 24 h (Bouvarel, 2009).



Le poulet « moderne » a tendance à manger en privilégiant l'aliment le plus énergétique et ne semble pas détecter facilement un aliment à faible ou forte teneur en protéines, avec des alternances d'aliment tous les 24h. La teneur en protéines, à toutes les échelles considérées, a un plus faible impact sur l'ingestion. Ces mécanismes d'adaptation liés à l'énergie ou aux protéines sont différents, sans adaptation particulière de l'ingéré protéique en fonction de l'énergie, avec une vitesse d'apprentissage très rapide pour l'énergie et très lente pour la protéine. Ces adaptations progressives suggèrent qu'il existe un effet de l'expérience sur la consommation et sur les préférences alimentaires (Bouvarel, 2009).

II.4. Alimentation séquentielle en conditions tropicales

L'intérêt de l'utilisation de l'alimentation séquentielle pour compenser les effets négatifs d'un climat tropical chez les poulets de chair en finition a été évalué par Lozano *et al.*, (2006). Le retrait de l'aliment pendant les phases les plus chaudes de la journée (09:00 à 16:00 h) a été comparé à la distribution *ad libitum* de maïs broyé ou d'un aliment commercial pendant la même période, chez des poulets de chair élevés en milieu tropical (température moyenne de 25°C ; humidité relative moyenne de 72 %) entre 28 et 42 jours d'âge. Entre 16:00h et 09:00h, tous les poulets recevaient l'aliment commercial *ad libitum* et le poulailler était continuellement éclairé. Chaque régime expérimental était distribué à 7 parquets de 14 poulets non sexés.

Dans ces conditions, le retrait d'aliment comme la distribution de maïs ont réduit la croissance ($P < 0,01$) et détérioré l'indice de consommation ($P < 0,01$) par rapport aux témoins nourris *ad libitum*. A l'âge de 41 jours, la température corporelle moyenne mesurée à 14:00 h chez les témoins (42,56°C) était supérieure ($P < 0,002$) à celle mesurée chez les poulets recevant du maïs (42,27 °C) ou mis à jeun (42,11°C). Ces effets mesurés entre 4 et 6 semaines d'âge chez des poulets exposés à un climat tropical modéré, illustrent les limites du retrait de l'aliment ou l'alimentation séquentielle dans des conditions pratiques (Lozano *et al.*, 2006).

A l'issue de cette expérience, les auteurs préconisent d'associer la distribution de maïs ou le jeûne diurne à un régime complémentaire nocturne plus riche en acides aminés indispensables que le régime commercial.



II.5. Alimentation séquentielle à base de céréales graines entières

Les céréales sont les composantes majoritaires de l'aliment du poulet. Dans la pratique actuelle, elles sont d'abord broyées puis mélangées avec les autres matières premières pour constituer un aliment complet unique adapté à la phase d'élevage. Dans certains pays nordiques de l'Europe, l'introduction de céréales entières (blé principalement), simultanément ou alternativement avec un aliment complet, n'affecte pas les performances de croissance et permet de réduire les couts de stockage, de transformation et de transport des céréales si l'aviculteur les produit (Noirot *et al.*, 1998).

Dans ce contexte, l'avantage offert par l'alimentation séquentielle est la simplicité de sa mise en œuvre en pratique puisqu'elle permet l'utilisation des installations de distribution alimentaire du régime complet déjà existantes. Avec un silo supplémentaire au sein de l'élevage, des céréales en l'état peuvent être ainsi combinées à un aliment standard complémentaire de manière aisée.

Dans des conditions expérimentales diverses (climat, logement, type de céréale, composition de l'aliment complémentaire, âge d'introduction de la céréale), des résultats globalement encourageants sont parfois obtenus : par exemple, avec du blé entier entre 18 et 46 jours et un programme lumineux alterné avec une heure d'éclairage toutes les quatre heures (Rose et Lambie, 1986), du sorgho entier à partir de 10 jours (Mastika et Cumming, 1987) ou du blé entier entre 7 et 49 jours (Leeson et Caston, 1993). Dans tous ces essais, les vitesses de croissance sont semblables à celles obtenues avec un aliment complet.

Dans l'essai de Covasa et Forbes (1994), des poulets consomment en moyenne 15% de blé entier dans leur ration globale entre 1 et 49 jours d'âge lorsqu'ils sont nourris avec un aliment complet « Démarrage » offert pendant 18h, suivi de blé complet pendant 6h. Avec des séquences d'égales durées pour les deux types d'aliments (8 heures) et un aliment formulé à partir d'un aliment complet duquel on a ôté la moitié du blé (30% de protéines, 3060 kcal/kg), les poulets consomment, entre 28 et 49 jours d'âge, 44% de leur ration sous forme de céréales entières (Rose *et al.*, 1995). Les performances de croissance enregistrées dans ces deux études sont similaires à celles obtenues avec l'aliment complet unique.

Avec des séquences trop courtes (4 heures), le poulet peut exprimer un rejet de la céréale et jeûner jusqu'à la séquence « aliment complémentaire » qui suit. Des séquences



supérieures de 12 heures peuvent mettre l'animal en situation de carence nutritionnelle. Il semble qu'une durée intermédiaire, de l'ordre de 8 heures, soit préférable (Rose *et al.* 1995 ; Noirot *et al.*, 1998).

Après une semaine d'âge, l'âge absolu d'introduction de la céréale en alimentation séparée ne semble pas modifier la durée de la période d'adaptation nécessaire pour constituer un régime globalement équilibré (Yo *et al.*, 1997). Cette période est variable : elle est fonction des différences de présentation et de composition du régime précédant le choix entre une céréale et un aliment complémentaire (Rose et Kyriasakis, 1991).

III. Utilisation de l'orge dans l'alimentation du poulet de chair

III.1. Présentation de l'orge

L'**orge commune** (*Hordeum vulgare*) est une céréale à paille, plante herbacée annuelle de la famille des poacées (autrefois appelées **graminées**). L'orge, d'une hauteur moyenne d'un mètre, est très voisine du blé mais s'en distingue par ses épis allongés et toujours barbus (Figure 3).

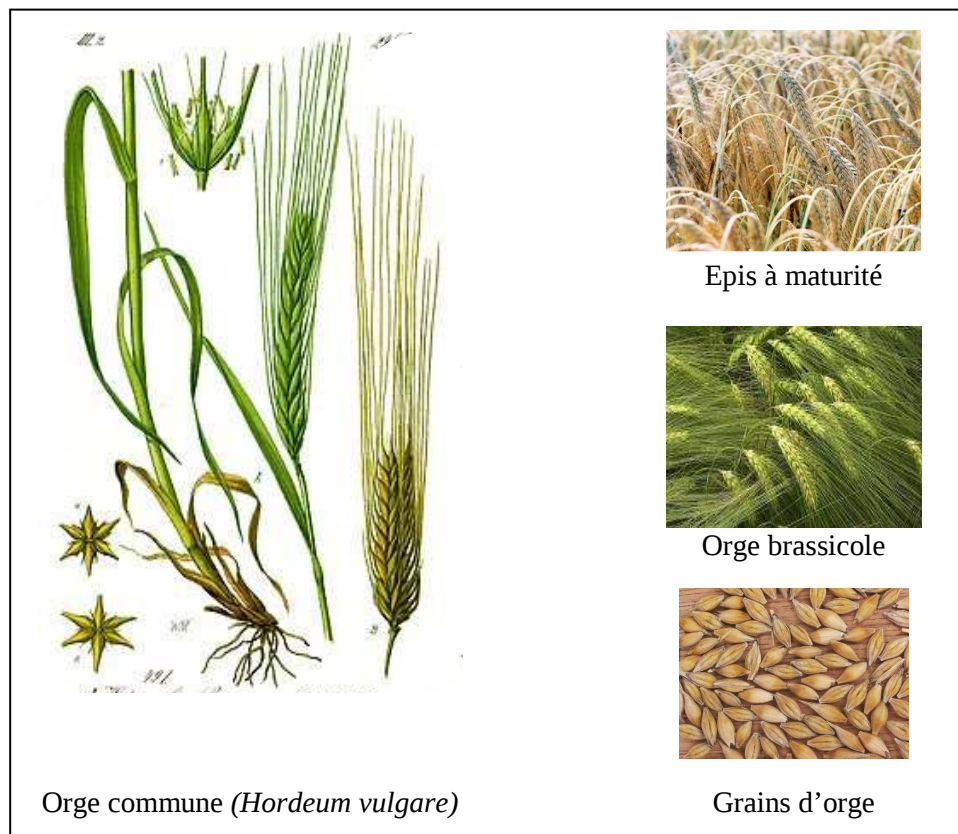


Figure 3. Orge commune (source internet 1).



Deux grands types d'orge sont distingués :

- **Les orges à 6 rangs (*Hordeum hexastichum*)**, c.-à-d. dont l'épi est constitué de 6 rangs de grains autour du rachis, sont essentiellement des variétés d'hiver. Encore appelées escourgeons, elles présentent les rendements les plus élevés de toutes les orges et sont principalement destinées à l'alimentation animale.
- **Les orges à 2 rangs (*Hordeum distichum*)**, ou paumelles, sont plutôt cultivées au printemps et utilisées en brasserie.

III.2. Composition chimique de l'orge

Les glucides représentent en moyenne 80% de la matière sèche des graines d'orge et sont constitués essentiellement d'amidon localisé au niveau du caryopse et qui représente la principale source d'énergie de cette céréale (Tableau 1).

Tableau 1. Composition chimique de différentes variétés d'orge locales (en % de la MS)

(Alloui *et al.*, 2003).

Variétés	MS	Cendres	Lipides	PB (Nx 6,25)	CB	ADF	NDF	ENA
Saida 183	95,0	2,8	2,4	14,2	7,0	4,0	17,0	68,6
Tichedrett	95,1	2,9	2,8	13,9	6,5	3,5	17,5	69,0
Robur	95,3	2,7	2,4	14,3	6,4	3,7	17,3	69,5
Moyenne	95,1	2,8	2,5	14,1	6,6	3,7	17,3	69,0

MS : Matières Sèches ; PB : Protéines Brutes (Matières azotées totales) ; CB : Cellulose Brute ; ADF : Acid Detergent Fiber ; NDF : Neutral Detergent Fiber ; ENA : Extractif Non Azoté.

La cellulose, principalement concentrée dans les glumelles (50 à 60%), les enveloppes du grain et les parois cellulaires de la couche d'aleurone, représente 5 à 8% en moyenne de la matière sèche. Sa teneur est relativement élevée chez les orges locales.

L'orge a une teneur en matières grasses moins élevée que celle du maïs, du sorgho ou de l'avoine. Les teneurs moyennes observées varient de 1,5 à 2,5%. Sa teneur en acide linoléique est nettement inférieure à celle du maïs et à celle d'autres céréales. Un apport complémentaire de cet acide gras essentiel dans les aliments à base d'orge est parfois recommandé (Benabdeldjelil, 1999). De plus l'absence de pigments colorants en quantité suffisante dans



l'orge peut être corrigée par l'emploi de matières premières riches en ces constituants ou l'addition de produits synthétiques.

L'orge est une céréale relativement pauvre en protéines par rapport au blé ou au triticale mais sa teneur reste supérieure à celle du maïs. La teneur en protéines est influencée par la variété, et son mode de culture. Les protéines de l'orge présentent un profil en acides aminés mieux adapté aux besoins des animaux que celui du maïs ou du blé. Les teneurs en calcium et en sodium sont légèrement supérieures à celles du maïs. L'orge demeure une céréale relativement pauvre en ces éléments (Jeroch *et al.*, 1995).

III.3. Valeur nutritive de l'orge

L'utilisation de l'orge par le poulet dépend de ses caractéristiques physico-chimiques, de sa valeur nutritive et des effets des facteurs antinutritionnels qu'elle peut contenir. **La valeur énergétique de l'orge** est l'une des plus faibles parmi les céréales usuelles liée en partie au taux de fibres élevé des graines. Les mesures effectuées sur des orges locales montrent des valeurs moyennes allant de 2854 à 2885 kJ/kg (Benabdeljelil, 1999).

Les coefficients de digestibilité des protéines de l'orge, de l'ordre de 69 à 79% sont comparables à ceux du maïs (Tableau 2).

Les principaux **facteurs antinutritionnels** des orges sont les bêta-glucanes correspondant à des polysides solubles non amylacés constitués de chaînes de glucose liés en β 1-4 et β 1-3. La molécule est linéaire et composée de polymères de poids moléculaire élevé. La présence de liaisons β 1-4 et β 1-3 introduit des irrégularités moléculaires encourageant la formation de gels visqueux par solubilité augmentant leur indigestibilité (Benabdeljelil, 1999).

Tableau 2. Digestibilité comparée des protéines de l'orge et du maïs
(Larbier et Leclercq, 1992).

Digestibilité réelle (%)	Orge	Maïs
Azote	82,8	88,5
Lysine	80,1	78,6
Méthionine	85,2	91,5
Cystine	84,2	78,8



En bref, l'orge est une matière première caractérisée par :

- une valeur énergétique moyenne,
- un taux de matière grasse inférieur à celui du maïs mais une teneur protéique plus élevée,
- un profil en acides aminés satisfaisant les besoins des volailles, des niveaux en lysine et en méthionine+cystine correspondant respectivement à 3,6% et 3,9% des protéines,
- un taux de fibres plus élevé que celui du maïs.

Ces caractéristiques nutritionnelles de l'orge peuvent être améliorées par l'emploi de procédés technologiques appropriés, par des traitements hydrothermiques ou enzymatiques permettant de réduire l'effet des facteurs antinutritionnels présents dans la graine (Jeroch *et al.*, 1995 ; Benabdeljelil, 1999).

III.4. Effets de l'incorporation de l'orge dans l'aliment du poulet de chair

L'analyse des données bibliographiques montrent que l'inclusion de l'orge dans l'aliment de volailles donne des résultats très variables d'une expérimentation à l'autre. Ceci serait lié à plusieurs facteurs tels que: la variété d'orge incorporée, sa composition chimique et ses caractéristiques nutritionnelles ; l'âge des animaux utilisés ; les caractéristiques nutritionnelles globales des régimes ; la nature, la dose et la composition des complexes enzymatiques éventuellement rajoutés et les autres composantes des régimes (Blum, 1980 ; Jeroch *et al.*, 1995 ; Benabdeljelil, 1999).

Néanmoins, il semble que l'incorporation de l'orge à des niveaux supérieurs à 30% dans les régimes distribués aux poulets de chair entraîne une réduction des performances de croissance et une augmentation de l'indice de consommation (Benabdeljelil, 1997 ; Bennett *et al.*, 2002).

Benabdeljelil (1999) rapporte que l'inclusion de 15, 20 ou 25% d'orge locale marocaine dans des aliments de poulets de chair, distribués *ad libitum* durant 47 jours, donne lieu à des niveaux de performances comparables à ceux de lots témoins ayant 0 à 10% d'orge. En revanche, des taux d'incorporation de 30, 35 ou 40% d'orge dans l'aliment induisent une baisse significative des gains de poids (-16% en moyenne) et une détérioration significative de



l'efficacité alimentaire (écart moyen 13%) par rapport au poulets nourris avec 10% d'orge dans l'aliment (Benabdeljelil, 1999).

L'examen des résultats de travaux publiés relatifs à l'ensemble des volailles, permet de constater que le jeune poulet est le plus sensible aux effets des bêta-glucanes hydrosolubles; qui se manifestent par une réduction de la consommation alimentaire et de la croissance. L'observation d'une croissance anormale chez les poulets nourris d'aliment à base d'orge remonte au moins aux années 1930. Outre les traitements mécaniques (broyage, décorticage) et les traitements thermiques et hydro thermiques, les additions d'enzymes aux aliments à base d'orge constituent la voie d'amélioration la plus répandue.

IV. Valorisation de l'orge par l'emploi d'additifs enzymatiques

IV. 1. Données générales sur les enzymes utilisées dans l'aliment du poulet

De manière générale, les enzymes ajoutées aux aliments des volailles doivent être assimilées à une extension du système enzymatique de leur tube digestif. Choies de manière pertinente, elles permettent d'inhiber les facteurs antinutritionnels présents dans les aliments et d'améliorer la disponibilité des nutriments pour l'animal. Ces avantages offrent la possibilité d'employer davantage les aliments induisant classiquement des chutes de performances. En alimentation animale, l'usage des enzymes est récent et date tout au plus de 20 ans (Beckers et Piron, 2009).

Les enzymes étant très spécifiques de leurs substrats, 4 grands groupes d'enzymes sont dénombrées en alimentation animale : celles hydrolysant, respectivement, les fibres, les protéines, les amidons et les phosphates d'origine végétale (Beckers et Piron, 2009).

L'Amylase est une enzyme digestive classée comme saccharidase. C'est surtout un constituant du suc pancréatique et de la salive, requis pour le catabolisme des glucides à longue chaîne (comme l'amidon) en unités plus petites. L'alpha-amylase brise les liens α (1-4) glycosidiques à l'intérieur des chaînes de l'amylose et de l'amylopectine pour ultimement donner des molécules de maltose (disaccharides de α -glucose). Elle ne peut attaquer que l'amidon cuit.



La β -galactosidase est une hydrolase capable d'hydrolyser une liaison osidique faisant intervenir un galactose en position β . Elle est composée de 4 sous unités semblables deux à deux.

Les enzymes NSP ("non starch polysaccharides" pour Polysaccharides Non Amylacés ou PNA) sont utilisés depuis plusieurs années pour améliorer la valeur nutritionnelle des aliments pour les volailles. Ils permettent de diminuer les effets négatifs des PNA présents dans la plupart des matières premières, au niveau de leur membrane cellulaire (Tableau 3). Ces PNA, comprenant la cellulose, l'hémicellulose, les pectines et les oligosaccharides, correspondent à des monomères liés par des liaisons bêta qui ne sont pas digérés par les enzymes endogènes du poulet (Uzu et Sassi, 2005). La nature et la complexité de ces polysaccharides varient selon les variétés végétales considérées (Uzu et Sassi, 2005). Plusieurs types d'enzymes dégradent les PNA, les principales étant la **xylanase** et la **bêta-glucanase**.

Tableau 3. Comparaison des principaux nutriments dans les matières premières du poulet de chair (d'après Uzu et Sassi, 2005)

Nutriment (%MS)	Blé	Maïs	T. Soja	Orge	Seigle	Enzymes digestives
Amidon	65-68	68-72	2,5-3,0	54-65	60-63	Amylase
Protéines	11-16	8,5-11,5	45-52	11-12	10,5-14,0	Protéase
Lipides	1,5-2,0	3-4	1,0-1,5	1,5-2 ,0	1,5-2 ,0	Lipase
NSP	9-11	7-9	20-22	12-16	10-11	Aucune

L'incorporation d'enzymes NSP dans les aliments à base de blé ou d'orge permet de diminuer les effets négatifs liés à l'activité anti-nutritionnelle des polysaccharides non amylacés hydrosolubles. Les enzymes, en diminuant la viscosité des contenus digestifs, augmentent la digestibilité des nutriments ainsi que l'énergie métabolisable de l'aliment (Géraert *et al.*, 1997). Ces effets positifs des enzymes NSP ont surtout été obtenus avec les espèces poulet de chair, dinde et poule pondeuse (Mathlouthi, 2002). Ils montrent soit une absence d'effet des enzymes NSP (Jamroz *et al.*, 1998a ; Farrell et Martin, 1998), soit un effet positif sur la viscosité des digesta (Timmler *et al.*, 2001), la croissance, l'indice de consommation, l'utilisation de l'azote et du phosphore, en particulier au cours des périodes de démarrage et de croissance des animaux (Jeroch *et al.*, 1995 ; Jamroz *et al.*, 1998b).



L'incorporation d'enzymes NSP multi-activités dans les aliments volailles permet une plus grande flexibilité dans la formulation des aliments tout en sécurisant leur modification et donc de mieux tirer parti des matières premières utilisées en aviculture. Les enzymes exogènes NSP apportés par l'aliment sont activés par l'humidité, le pH et la température du tractus digestif et agissent sur leurs substrats cibles dans les céréales et les tourteaux. L'hydrolyse des NSP conduit à la segmentation des mailles glucidiques, ce qui diminue la viscosité intestinale néfaste à l'absorption des nutriments et facilite l'accès des enzymes endogènes (amylases, protéases, lipases,...) aux nutriments piégés (Uzu et Sassi, 2005).

Au niveau iléal, la diminution de la viscosité permet une meilleure diffusion des molécules dans la lumière intestinale et donc une meilleure absorption. La réduction de la viscosité est aussi associée à une accélération du transit digestif, ce qui réduit les proliférations microbiennes au niveau iléal et donc les prélèvements des nutriments par la microflore. D'autres facteurs sont aussi affectés, comme la réduction de l'excrétion d'eau directement liée à la diminution de la consommation d'eau (Uzu et Sassi, 2005). Les longues chaînes glucidiques des parois cellulaires sont dégradées par une combinaison d'activités enzymatiques. A chaque type de liaison chimique correspond un enzyme spécifique. Dans une étude récente, Mathouthi (2002) a analysé l'effet de différentes activités enzymatiques sur la viscosité d'extraits aqueux de différentes matières premières (maïs, orge, blé, tourteau de soja...). Cette expérience démontre, sur des céréales telles que le blé ou l'orge, qu'une association de xylanase et beta-glucanase est plus efficace que chacune de ces activités individuellement (Figure 4). Cet effet est encore accru, lorsque les 2 activités sont en présence d'autres activités polysaccharidasiques et il s'applique à de nombreuses matières premières incluant le maïs et le tourteau de soja.

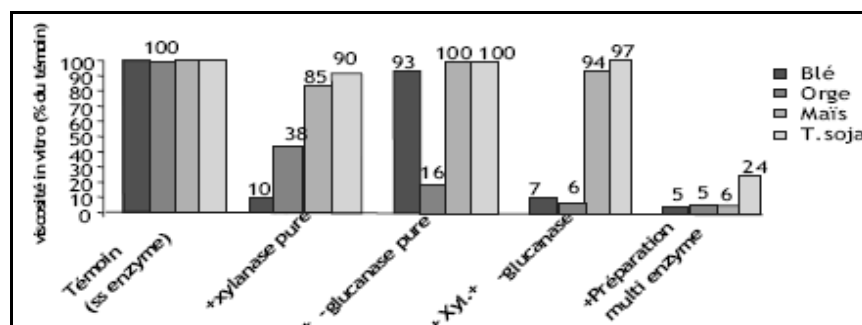


Figure 4. Impact des enzymes (xylanase, glucanase) seules ou en association sur la viscosité de différentes matières premières (*in vitro*) (d'après Mathlouti *et al.*, 2002)



IV.2. Amélioration de la valeur nutritive de l'orge par les additifs enzymatiques

De manière globale, les effets bénéfiques liés à la supplémentation enzymatique sont observés chez le poulet de chair avec différents types d'aliments : maïs ou orge ou blé - tourteau de soja (Tableau 4). Ils se traduisent par une amélioration du gain de poids de 1,6 à 3,4% et de l'indice de consommation, de 2,5 à 6,8%, selon les matières premières utilisées dans les aliments (Uzu et Sassi, 2005). Cette amélioration est à relier à une meilleure digestibilité des aliments. L'ensemble des essais réalisés sur des aliments complets avec ou sans enzymes ajoutés permettent d'évaluer l'augmentation de l'énergie métabolisable à : 65 Kcal/kg pour les aliments à base de maïs ; 140 Kcal/kg pour les aliments à base d'orge et 85 Kcal/kg pour les aliments à base de blé (Uzu et Sassi, 2005).

Tableau 4. Effet d'une supplémentation en enzymes NSP multi-activités sur les performances du poulet de chair avec différents types d'aliments (d'après Uzu et Sassi, 2005).

Type d'aliment (durée de supplémentation en j)	Maïs-soja 1-49 jours	Orge-soja 1-41 jours	Blé-soja 1-36 jours
<i>Variations : Lot Supplémenté en Enzymes/Lot Témoin</i>			
Ingéré (g/sujet)	-2,5%	-2,6%	-3,4%
Poids vif (g)	+1,6%	+3,2%	+3,4%
Indice de consommation	-2,5%	-5,7%	-6,8%

Les premières études d'utilisation d'enzymes dans les régimes à base d'orge ont eu lieu vers la fin des années 1950 (Benabdeljelil, 1991). Elles étaient axées sur l'utilisation d'activités essentiellement amylolitiques. Actuellement, les préparations enzymatiques commercialisées pour le traitement des orges sont des mélanges d'enzymes à activités multiples et variées. On y trouve des bêta-glucanases, des cellulases, des amylases, des hémicellulases, et des protéases (Benabdeljelil, 1991).

Grâce aux préparations enzymatiques capables d'hydrolyser les PNA, dans certains pays, l'introduction de l'orge est devenue presque exclusive comme composant céréalier (en substitution du maïs) des rations des poulets de chair.

Le remplacement du maïs par l'orge dans les aliments de poulet de chair jusqu'à un niveau de 40% en présence de complexes enzymatiques commerciaux ne semble pas avoir d'effet significatif sur les performances. Par contre, l'augmentation du niveau de substitution à



un niveau de 50% ou 75% donne lieu à une réduction significative du gain de poids et de l'efficacité alimentaire. L'addition de complexes enzymatiques commerciaux, aux doses recommandées par les fournisseurs, aux régimes ayant des teneurs élevées en orge permet d'obtenir des niveaux de performances identiques à ceux des traitements 'homologues' sans ajout d'enzymes. (Piton, 1979 ; Hesselman et Aman, 1986 ; Campbell et Grootwassink, 1988 ; Benabdeljelil, 1991).

Ceci serait dû à une réduction de la viscosité et une augmentation de la digestibilité des nutriments et de l'EMA (Fuente *et al.*, 1995 ; Villamide *et al.*, 1997 ; Huyghebaert et De Groote, 1995). D'après ces études, l'apport d'enzymes améliore la croissance et l'indice de consommation à 43 jours de 3 à 6%. De même, il améliore de 2% le rendement de carcasses de poulets et réduit l'humidité des fientes. L'apport de produits ayant une activité enzymatique agit très favorablement entre 0 et 21 jours de la vie du poulet. L'apport de l'orge, à raison de 30 puis 40% augmente la consommation d'eau par rapport à celle du témoin mais l'apport de 1 g/kg d'un complexe enzymatique aux régimes contenant de l'orge maintient le niveau de consommation d'eau égal au témoin. L'apport de produits enzymatiques augmente en conséquence la teneur en matière sèche des excréments.

Une autre étude, menée au Canada, a évalué l'effet de régimes à base d'orge avec ou sans préparation enzymatique sur la croissance des poulets de chair de 3 à 6 semaines d'âge. Les traitements comprenaient des régimes de croissance et de finition utilisant deux cultivars d'orge cultivés dans la région dans les proportions de 0, 20, 40 et 60%, additionnés d'une préparation enzymatique commerciale à raison de 0 ou 1 000 mg/kg d'aliments. Le régime de démarrage ne contenait pas d'orge (MacLean *et al.*, 1994). L'inclusion de la préparation enzymatique dans les régimes à base d'orge 2-rangs produisait des poulets significativement plus lourds à 6 semaines et améliorait significativement l'indice de consommation entre la 5^e et la 6^e semaine, ce qui laisse voir une réaction aux enzymes chez les poulets plus âgés.

En Algérie, des tests *in vitro* ont été réalisés pour évaluer l'efficacité d'une préparation enzymatique sur 3 variétés d'orge locale (Saïda, 183, Tichedrett et Robur) afin de déterminer la viscosité ainsi que les fractions ADF et NDF avec ou sans addition de préparations multi-enzymatiques (Quatrazyme HP, Nutri-Tomen, France) contenant deux enzymes principales (xylanase et β -glucanase) et d'autres enzymes à activités secondaires (cellulase, glucosidase, galactosidase, arabino-furanosidase et xylosidase) (Alloui *et al.*, 2003). Ces auteurs ont



montré un effet positif aussi bien sur l'amélioration de la viscosité que sur l'hydrolyse des PNA même si ces 3 variétés d'orge cultivées en Algérie sont considérées comme variétés à faible viscosité.

Globalement, le succès des traitements enzymatiques des aliments à base d'orge est fonction de l'âge des animaux testés, de la nature et de la dose d'enzymes ajoutées, de la variété d'orge traitée et d'un ensemble d'autres facteurs de non moindre importance tels que les matières premières associées, la concentration énergétique des aliments et la présence ou non de matières grasses ajoutées (Benabdeldjelil, 1999). Cependant, pour une utilisation exacte de ces enzymes, il est nécessaire de connaître les principales activités présentes et leurs quantités dans les préparations et les produits finis, leur stabilité, et les effets qu'ont ces enzymes sur les paramètres productifs et physiologiques.



Cet essai vise à évaluer l'impact d'une alimentation séquentielle (AS) à base d'orge associée à une complémentation alimentaire en enzymes, sur les performances zootechniques, la qualité de la carcasse, la flore lactique digestive et quelques marqueurs métaboliques sanguins du poulet de chair élevé dans nos conditions locales.

I. Lieu, période et durée de l'essai

L'essai a été réalisé au niveau de la Station expérimentale des Monogastrique de l'Institut technique des élevages (ITELV) de Baba Ali, Alger. Il s'est déroulé du 04 mars 2009 au 28 avril 2009 soit un cycle d'élevage complet de 56 jours.

II. Animaux

Mille six cent quatre vingt (1680) poussins d'un jour de souche ISA F15 Hubbard (sexes mélangés), issus d'un même couvoir (Dar El Beida, SIFAAC Sarl : Société Industrielle Fabricant d'Aliments et Accoureur) ont été pesés, triés et répartis en 4 groupes (n=420) de poids moyen homogène ($42,1g \pm 0,2$). Chaque groupe a été ensuite réparti en 7 parquets de 60 sujets (soit au total 28 parquets de 60 animaux ; densité : $11,38 \text{ sujets/m}^2$). La répartition des lots au sein du bâtiment a été réalisée de manière à avoir une disposition homogène des sujets selon les traitements et régimes étudiés.

III. Traitements expérimentaux

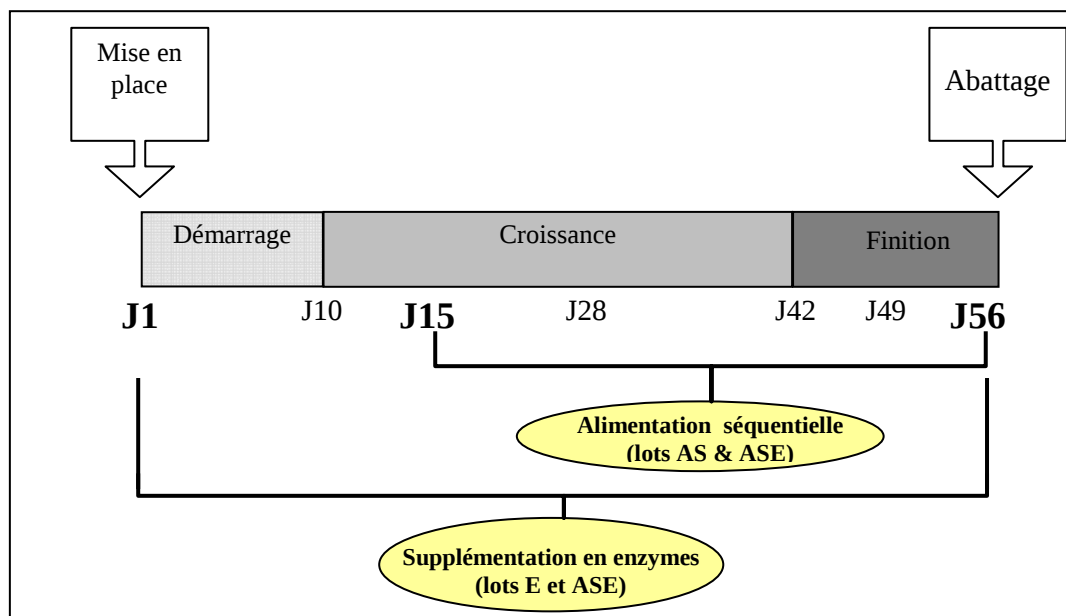
Dans cet essai, nous comparons les 4 traitements suivants:

- 1) **Un groupe T** recevant **en continu** un **aliment standard** de type maïs soja (Aliment de base) et ce durant toute la période de l'essai (de J0 à J56).
- 2) **Un groupe E** recevant **en continu** (de J0 à J56) le même **aliment standard** **supplémenté** avec un **complexe enzymatique** à un taux de 0,1% (soit 1kg/tonne d'aliment).
- 3) **Un groupe AS** soumis à partir de J15 et jusqu'à l'abattage (J56) à une **alimentation séquentielle** basée sur une **distribution alternée de 2 aliments séparés** : des grains **d'orge** (1 séquence de 6 heures en milieu de journée ; de 10h à 16h) et de **l'aliment de base standard** (le reste de la journée : de 16h à 10h).
- 4) **Un groupe ASE**, soumis également, entre J15 et J56, à une **alimentation séquentielle** basée sur une **distribution alternée de 2 aliments séparés** : des grains **d'orge** (1 séquence de 6 heures en milieu de journée; de 10h à 16h) et **aliment de base**



Supplémenté en enzymes (complexe enzymatique incorporé à 0,1% de l'aliment de base) (le reste de la journée : de 16h à 10h).

La complémentation alimentaire en enzymes a couvert tout le cycle d'élevage de la bande (c.à.d. de J0 à J56). En revanche, l'application de l'alimentation séquentielle à base d'orge n'a débuté qu'à partir du 15^{ème} jour d'âge jusqu'à l'abattage à J56 (voir les modalités de distribution plus loin). Le schéma expérimental et les mesures effectuées sont récapitulés dans le schéma suivant (Figure 5).



Mesures	n=	J1	J10	J28	J42	J49	J56
Poids vif [§]	7	+	+	+	+	+	+
Refus d'aliment [§]	7	+	+	+	+	+	+
Mortalité	7	Relevé quotidien durant tout l'essai					
Rendement de la carcasse [#]	10						+
Prélèvement de sang [#] (mesure des paramètres métaboliques)	7						+
Prélèvement fécal (écouvillonnage) [#] (dénombrement de la flore lactique)	7						+

Figure 5. Schéma du protocole expérimental.

([§] Mesures collectives ; [#] Mesures individuelles ; n= nombre de répétitions pour chaque paramètre).



IV. Aliments

IV.1. Composition et caractéristiques des aliments de base utilisés

Durant tout l'essai, tous les poulets étaient nourris avec les mêmes aliments de base supplémentés (lots E & ASE) ou non (lots T & AS) avec le complexe enzymatique. Les aliments de base utilisés correspondent à chaque période d'élevage, à savoir : un aliment «Démarrage» distribué entre J1 et J10 ; un aliment «Croissance» distribué de J11 à J42 et un aliment «Finition» distribué entre J43 et J56. Ils ont été fabriqués par l'Unité d'Aliment Bétail (UAB) de Baba Ali d'Alger et ont été fournis sous forme de farine et *ad libitum* durant tout l'essai. La composition et les caractéristiques (calculées) de ces différents aliments sont présentées ci-dessous (Tableau 5, 6 et 7).

Tableau 5. Composition et caractéristiques de l'aliment « Démarrage » distribué entre J1 et J10 aux 4 groupes expérimentaux.

	Lots T & AS	Lots E & ASE
<i>Matières premières (%)</i>		
Maïs	57,6	57,6
Son de blé	5,0	5,0
Tourteau de soja	32,1	32,1
Calcaire	1,0	1,0
Phosphate bicalcique	2,0	2,0
CMV antistress	1,0	1,0
CMV Démarrage	1,0	1,0
Complexe enzymatique	–	0,1
<i>Caractéristiques (valeurs calculées)</i>		
EM (kcal/kg)	2700	2700
Protéines brutes (%)	20	20
Méthionine (%)	0,75	0,75
Lysine (%)	1,09	1,09
Ca	1,2	1,2
P	0,3	0,3
Na	0,1	0,1



Tableau 6. Composition et caractéristiques de l'aliment « Croissance » distribué, entre J11 et J42, aux 4 groupes expérimentaux.

	Lots T & AS	Lots E & ASE
<i>Matières premières (%)</i>		
Maïs	64,8	64,8
Son de blé	5,00	5,00
Tourteau de soja	27,00	27,00
Calcaire	0,9	0,9
Phosphate bicalcique	1,20	1,20
CMV Croissance	1,0	1,0
Méthionine	0,07	0,07
Complexe enzymatique	–	0,1
<i>Caractéristiques (valeurs calculées)</i>		
EM (kcal/kg)	2900	2900
Protéines brutes (%)	19	19
Méthionine (%)	0,55	0,55
Lysine (%)	1,03	1,03
Ca	1,00	1,00
P	0,30	0,30
Na	0,10	0,10

Tableau 7. Composition et caractéristiques de l'aliment « Finition » distribué, entre J43 et J59, aux 4 groupes expérimentaux.

	Lots T & AS	Lots E & ASE
<i>Matières premières (%)</i>		
Maïs	68,8	68,8
Son de blé	6,00	6,00
Tourteau de soja	21,8	21,8
Calcaire	1,30	1,30
Phosphate bicalcique	1,1	1,1
CMV Finition	1,0	1,0
Méthionine	0,118	
Complexe enzymatique	–	0,1
<i>Caractéristiques (valeurs calculées)</i>		
EM (kcal/kg)	2930	2930
Protéines brutes (%)	17	17
Méthionine (%)	0,50	0,50
Lysine (%)	0,89	0,89
Ca	0,9	0,9
P	0,28	0,28
Na	0,028	0,028



IV. 2. Modalités de la supplémentation en enzymes

La complémentation alimentaire en enzymes a été appliquée, pour les lots E et ASE, du 1^{er} jour d'âge jusqu'à l'abattage à 56 jours. Le complexe enzymatique utilisé est une préparation à base de 6 enzymes (alpha-galactosidase, bêta-glucanase, protéase, xylanase, pectinase et amylase), commercialisée sous l'appellation FRA® ZYME PE DRY, fabriquée par le groupe Perstrop (Pays bas) et distribuée par la société BIOLAB vétérinaire (Algérie). La dose utilisée est celle préconisée par le fabricant soit un taux d'incorporation de 0,1% (c.à.d. 1kg/tonne d'aliment).

IV. 3. Modalités de l'alimentation séquentielle à base d'orge

L'alimentation séquentielle à base d'orge a débuté à partir du 15^{ème} jour d'âge et a concerné les lots AS et ASE. Ces groupes de poulets ont ainsi reçus 2 aliments séparés et alternés quotidiennement comme suit (Figure 6):

- **De 10h à 16h (soit 6h/j) → Distribution de l'aliment séquentiel à base d'orge**, présentée sous forme de grains concassés jusqu'à 35j d'âge puis sous forme de grains entiers jusqu'à l'abattage.
- **De 16h à 10h (soit 18h/j) → Distribution de l'aliment de base complémentaire adéquat**, « Croissance » (de J15 à J42) et « Finition » (de J43 à J56), supplémentés (lot ASE) ou pas (Lot AS) en enzymes (cf. Tableau 6 & 7, page 27).

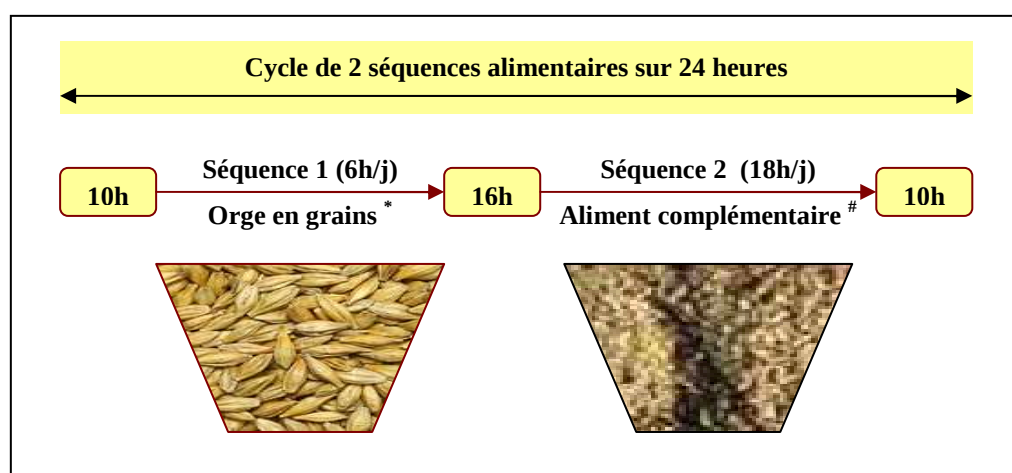


Figure 6. Cycle de distribution séquentielle des aliments pour les lots AS et ASE à partir du 15^{ème} jour d'âge jusqu'à l'abattage. * Sous forme concassée (de J15 à J35) ou en grains entiers (de J35 à J56).

#Aliment de base adapté à l'âge, supplémenté (lot ASE) ou non (lot AS) en enzymes.



V. Bâtiment, paramètres d'ambiance et équipements d'élevage

Les animaux des 4 lots expérimentaux ont été élevés dans un même bâtiment afin de les soumettre à des conditions environnementales similaires : programme lumineux, hygrométrie et température ambiante.

V.1. Bâtiment

Le bâtiment d'élevage utilisé (Figure 7) est de type obscur à ambiance contrôlée ayant une superficie de 296,1 m². Il est divisé en 2 blocs de 36 parquets de 5,72m², disposés de part et d'autre d'un couloir de 2,2m de large et d'un SAS comprenant un lieu de dépôt d'aliments, une citerne d'eau et une armoire de contrôle des facteurs d'ambiance (température et ventilation) et des humidificateurs. La ventilation est dynamique, assurée par des clapets pour l'entrée d'air et l'extraction des gaz est réalisée par cinq extracteurs (3 petits et 2 grands). Le chauffage du bâtiment est réalisé par des radiants. L'éclairage est assuré par 8 néons (1 pour 2 parquets) et 1 lampe par parquet.



Figure 7. Vues (extérieure et intérieure) du bâtiment d'élevage utilisé pour l'essai.



V.2. Programme de température et éclairage

Le programme de température appliqué est celui préconisé pour la souche de poulet utilisée (Tableau 8). Durant tout l'essai, la température d'élevage a été contrôlée.

Tableau 8. Les températures ambiantes selon l'âge des sujets.

Age des sujets (en semaines)	Température ambiante (°C)
1	32-34
2	30-32
3	26-29
4 – 5	24-25
6 – 7	20-22
8	20-22

Durant tout l'essai, l'éclairage était de 24heures avec une intensité maximale à 100% de son potentiel (3watt/m²).

V. 3. Equipements d'élevage

- **Le matériel d'alimentation** utilisé est adapté à l'âge des animaux : des assiettes pendant les 11 premiers jours et des trémies suspendues dont la hauteur est réglable selon la taille des poulets, du 11^{ème} jour jusqu'à l'abattage. Des mangeoires linéaires sont rajoutées pour optimiser l'accès aux mangeoires.
- **Le matériel d'abreuvement** du 1^{er} âge correspond à 2 abreuvoirs siphoniques à remplissage manuel. Un abreuvoir 2^{ème} âge siphonique automatique est installé à partir du 11^{ème} jour. Durant tout l'essai, l'eau est fournie *ad libitum*.
- **La litière** est composée de sciure de bois d'une épaisseur de 10cm, répartie sur un sol cimenté et chaulé. Au démarrage, les poussins sont rassemblés dans des nids au centre du parquet, ensuite, durant le reste de l'élevage, tout l'espace est utilisé. La litière a été étalée de façon uniforme pour conserver la chaleur et absorber l'humidité des fientes.



VI. Programme de prophylaxie

Le protocole prophylactique suivi lors de cet essai figure dans le tableau 9. L'ensemble des vaccins et traitements utilisés ont été administrés *per os* (dans l'eau de boisson).

Tableau 9. Programme de prophylaxie appliqué durant l'essai.

Age des sujets (en jours)	Vaccins et produits administrés par voie orale (<i>per os</i>)
1 – 3	Anti-stress pendant 3 jours (BAYTRIL)
4	Vaccination contre la maladie de Newcastle et la Bronchite infectieuse (HB1 et BIH120) + anti-stress
14	Vaccination contre la maladie de Gumboro (IBDL) + anti-stress
17	Traitement préventif anticoccidien pendant 5 jours (COCCIDIOPAN)
21	Rappel de vaccination contre la maladie de Newcastle (LA SOTA) + anti-stress
28	Rappel de Vaccination contre la Bronchite infectieuse (BIH120) + anti-stress

VII. Paramètres mesurés

VII. 1. Mesure des performances zootechniques

VII.1.1. Poids vif moyen

Tous les poulets ont été pesés à J1, J10, J28, J42, J49 et à J56 (pesées collectives par parquet). Pour chaque âge, le poids moyen individuel est obtenu en divisant le poids total des animaux de chaque parquet sur l'effectif des poulets pesés.

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

VII.1.2. Gain de poids

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

$$\text{Gain de poids (g)} = \text{Poids Vif Moyen Final (g)} - \text{Poids Vif Moyen Initial (g)}$$



VII.1.3. Ingéré alimentaire

La quantité moyenne d'aliment consommé est calculée, pour chaque phase d'élevage (démarrage, croissance et finition), par différence entre la quantité d'aliment distribuée en début et le refus mesuré à la fin de chaque phase. Afin d'estimer la quantité réelle d'aliment consommée, cette dernière a été ajustée en considérant l'effectif présent pendant la période considérée, selon la formule suivante :

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

VII.1.4. Indices de consommation et de conversion

Les indices de conversion et de consommation sont calculés pour chaque phase d'élevage, comme suit :

$$\text{Indice de Conversion} = \text{Ingéré alimentaire (g)} / \text{gain de poids (g)}$$

$$\text{Indice de Consommation} = \text{Ingéré alimentaire (g)} / \text{poids vif (g)}$$

VII.1.5. Taux de mortalité

La mortalité a été enregistrée chaque jour (en matinée) durant toute la période de l'essai. Le taux de mortalité est calculé comme suit :

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

VII. 2. Mesure des caractéristiques de la carcasse

La mesure des caractéristiques de la carcasse a été effectuée à l'âge de 56 jours sur un échantillon de 10 sujets par traitement expérimental (5 mâles et 5 femelles). Ces poulets, de poids représentatif de leur groupe, ont été pesés individuellement puis abattus par saignée. Leurs carcasses ont été plumées, effilées et conservées durant 24 heures à + 4°C ; puis, le gras abdominal, le foie, le cœur et le gésier (vidé) ont été prélevés et pesés. Le poids de la carcasse prête à cuire (PAC), a été également enregistré. Ces opérations ont été réalisées au niveau de la tuerie de l'ITELV de Baba-Ali.



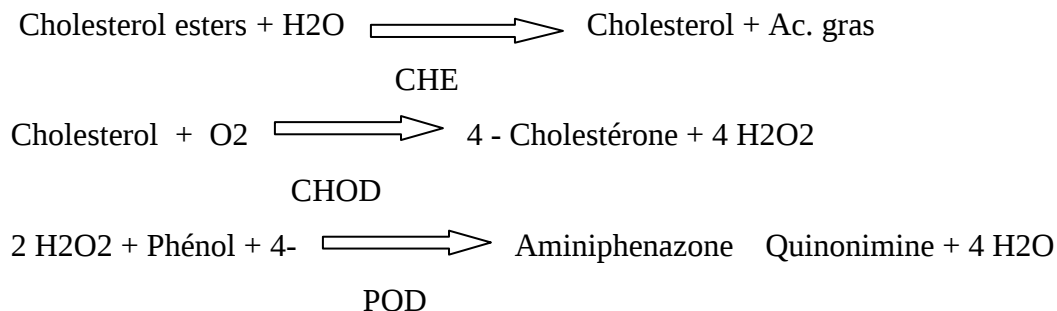
VII. 3. Mesures des paramètres métaboliques sanguins

VII.3.1. Prélèvements de sang

Les prélèvements sanguins ont été réalisés à la fin de l'essai (J56) sur 7 poulets mâles par traitement, de poids représentatif de leur groupe. En pratique, un volume de 5ml de sang/animal a été prélevé au niveau de la veine alaire et recueilli dans des tubes héparinés puis directement centrifugés (3000 tours/min ; 6min). Après centrifugation, un volume de 300µl de plasma obtenu a été recueilli au moyen d'une pipette capillaire et réparti dans 2 tubes Ependorf étiquetés pour chaque prélèvement et conservé à -20°C jusqu'aux dosages ultérieurs (mesure des teneurs plasmatiques en cholestérol, en triglycérides, en lipides totaux, en protéines totales, en glucose, en urée et en créatinine). Tous ces dosages ont été effectués au niveau du Laboratoire de Biochimie de l'Ecole Nationale Supérieure Vétérinaire d'Alger.

VII.3.2. Dosage du cholestérol

La teneur plasmatique du cholestérol a été évaluée en utilisant un kit de dosage commercial (Cholestérol/CHOD-PAP, SPINREACT, SA, Espagne) (fiche du protocole en annexes). **Le principe de la réaction** est le suivant: le cholestérol présent dans l'échantillon donne un complexe coloré selon les réactions décrites ci-dessous :



La mesure a été effectuée sur 10 µl de plasma. La concentration en cholestérol a été calculée selon la formule suivante:

$$\frac{\text{A Echantillon}}{\text{A Etalon}} \times \text{C Etalon} = \text{C Echantillon (mg/dl)}$$

A : Absorbance à la longueur d'onde de 505 nm

C : Concentration du standard = 200 mg/dl

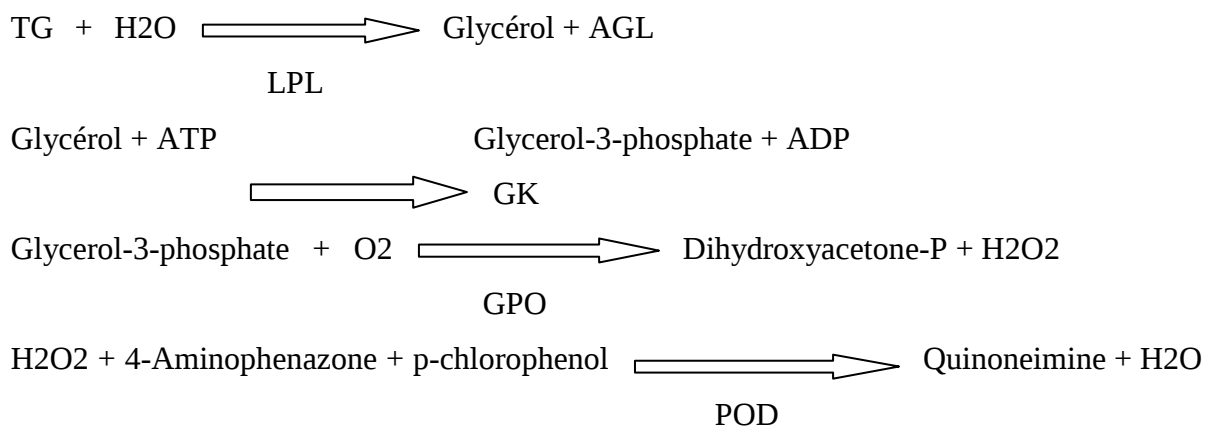
Facteur de conversion: mg/dl x 0,0258 = mmol/



VII.3.3. Dosage des triglycérides

Ce dosage a été effectué à l'aide d'un kit de dosage commercial (Triglycérides/GPO-PAP, SPINREACT, SA, Espagne) (fiche du protocole en annexes).

Le principe de la réaction : les triglycérides (TG) sont hydrolysés en glycérol et acides gras libres (AGL) par la lipoprotéine lipase (LPL). Le glycérol libéré réagit avec la glycérol kinase (GK) et la glycérol-3-phosphate oxydase (GPO) libérant de H₂O₂ dont la concentration est mesurée.



Le dosage des TG a été réalisé sur 10µl de plasma. La concentration de l'échantillon a été calculée selon la formule :

$$\frac{\text{A Echantillon}}{\text{A Standard}} \times \text{C Standard} = \text{C Echantillon (mg/dl)}$$

A : Absorbance à la longueur d'onde de 505 nm

C : Concentration du standard = 200 mg/dl

Facteur de conversion : mg/dl x 0,0113 = mmol/l

VII.3.4. Dosage des protéines totales

Le dosage de la teneur plasmatique en protéines totales a été réalisé à l'aide d'un kit de dosage commercial (Total protein/Biuret. Colorimetric, SPINREACT, SA, Espagne) (fiche technique en annexes). **Le principe du dosage** : la protéine présente dans l'échantillon réagit avec les ions cuivre en milieu alcalin, pour donner un complexe coloré quantifiable par spectrophotométrie. Ce dosage a été effectué sur 25 µl de plasma. Le résultat (concentration de l'échantillon en protéines totales) est calculé selon la formule suivante:



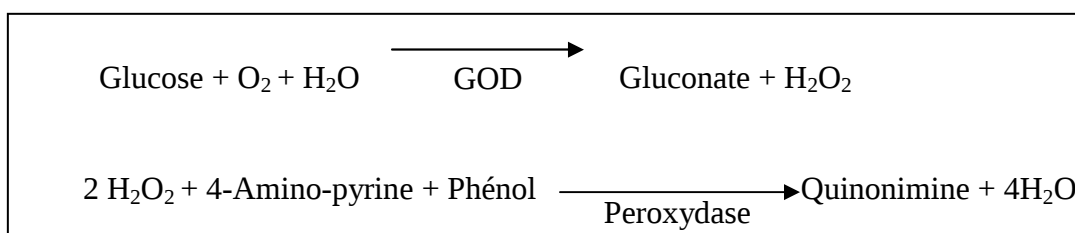
$$\frac{A_{\text{Echantillon}}}{A_{\text{Standard}}} \times C_{\text{Standard}} = C_{\text{Echantillon}} \text{ (g/dl)}$$

A : Absorbance à la longueur d'onde de 540 nm

C : Concentration du standard = 7 g/dl

VII.3.5. Dosage du glucose

La glycémie a été mesurée à l'aide d'un kit de dosage commercial (Glucose/GOD-PAP, SPINREACT, SA, Espagne) (fiche technique en annexes). **Le principe :** le glucose plasmatique est apprécié par la mesure de l'oxygène consommé au cours d'une réaction d'oxydation catalysée par la glucose oxydase (GOD).



Ce dosage a été effectué sur 10 µl de plasma. Le résultat (concentration de l'échantillon en glucose) est calculé selon la formule suivante :

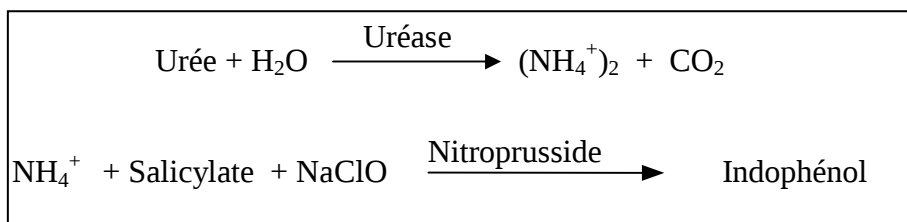
$$\frac{A_{\text{Echantillon}}}{A_{\text{Standard}}} \times C_{\text{Standard}} = C_{\text{Echantillon}} \text{ (mg/dl)}$$

C : Concentration du standard = 100 mg/dl

Facteur de conversion : mg/dl x 0,0555 = mmol/l

VII.3.6. Dosage de l'urée

Ce dosage a été effectué à l'aide d'un kit de dosage commercial (Urea-B, SPINREACT, SA, Espagne) (fiche du protocole en annexes). **Le principe de la réaction :** l'urée présente dans l'échantillon est hydrolysée en NH_4^+ et CO_2 . Les ions NH_4^+ réagissent avec le salicylate et le NaClO en présence d'un catalyseur (Nitroprusside), pour former de l'indophénol vert. L'intensité de la couleur formée est proportionnelle à la concentration d'urée de l'échantillon.



Le dosage de l'urée a été réalisé sur 10µl de plasma. La concentration de l'échantillon en urée est calculée selon la formule suivante :

$$\frac{A_{\text{Echantillon}}}{A_{\text{Standard}}} \times C_{\text{Standard}} = C_{\text{Echantillon}} \text{ (mg/dl)}$$

A : Absorbance à la longueur d'onde de 580 nm ;

C : Concentration du standard = 50 mg/dl

Facteur de conversion : mg/dl x 0,1665 = mmol/l

VII.3.7. Dosage de la créatinine

Le dosage de la créatinine plasmatique a été réalisé à l'aide d'un kit de dosage commercial (Créatinine/Jaffé. Colorimetric- Kinetic, SPINREACT, SA, Espagne) (fiche technique en annexe). **Principe** : la créatinine présente au niveau de l'échantillon réagit par des picrates de sodium pour former un complexe rouge. L'intervalle de temps choisi entre les deux dosages permet d'éviter les interférences qu'il pourrait y avoir avec les autres constituants de l'échantillon. La concentration de l'échantillon en créatinine est calculée selon la formule suivante :

$$\frac{\Delta A_{\text{Echantillon}}}{\Delta A_{\text{Standard}}} \times C_{\text{Standard}} = C_{\text{Echantillon}} \text{ (mg/dl)}$$

$$\Delta A = A_2 - A_1$$

A : Absorbance à la longueur d'onde de 492 nm

C : Concentration du standard = 2 mg/dl

Facteur de conversion : mg/dl x 88,4 = µmol/l



VII. 4. Etude de la flore lactobacillaire digestive

Dans cette étude, le dénombrement des colonies de lactobacilles digestifs a été réalisé sur des échantillons de fientes prélevés par écouvillonnage à l'âge de 56 jours. Ainsi, pour chaque parquet, les fientes de 3 sujets, de poids représentatif de leur groupe, ont été prélevés à l'aide d'écouvillons stériles enfoncés à environ 3cm dans le cloaque, soit au total 28 prélèvements (7 par traitement expérimental) correspondant chacun à un pool de 3 animaux. Ces écouvillons ont été rapidement placés dans une glacière et acheminés vers le laboratoire de Microbiologie de l'Ecole Nationale Supérieure Vétérinaire d'Alger. Une fois sur place, les échantillons ont été placés directement dans des flacons de 25ml de bouillon TSE (Tryptone-Sel-Eau). Cette solution constitue la suspension mère. Des dilutions successives de cette dernière ont été réalisées dans des tubes à essai jusqu'à la dilution 10^{-6} . Par la suite, 1ml des 2 dernières dilutions ont étéensemencés en double couche et en profondeur dans des boîtes de pétri contenant de la gélose MRS (Man, Rogosa et Sharpe) solide fondue et refroidie recouverte d'une autre couche de gélose blanche. Les boîtes de pétri ont été ensuite entreposées à l'intérieur d'une jarre d'anaérobiose puis incubées à 45-46°C pendant 72heures. Seules les boîtes ayant des colonies bien développées, bien séparées et non contaminées par des levures ou moisissures ont été retenues en vue d'en apprécier l'aspect, la forme, la taille, la couleur ainsi que leur nombre. Une coloration de Gram est effectuée afin de déterminer la forme et la couleur des bactéries. Les souches en forme de bâtonnet et à Gram positif (coloration violette) ont été retenues pour la confirmation des Lactobacilles. Le dénombrement des Lactobacilles se fait en appliquant la formule de calcul suivante:

$$\text{Nombre de bactéries/prélèvement} = \frac{n_{c-1} + n_c}{1,1 + 10^{-(x-1)}}$$

n_{c-1} est le nombre de colonies obtenues pour une dilution de $10^{-(x-1)}$,

n_c est le nombre de colonies obtenues pour une dilution de 10^{-x} .

VIII. Analyse statistique

Les 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 répétition pour les mesures collectives (performances zootechniques) ou le nombre d'animaux



pour les mesures individuelles (rendement de carcasse, dénombrement de la flore lactobacillaire, paramètres sanguins et morphométrie des intestins).

L'homogénéité de la variance entre traitements a été vérifiée par le test de Bartlett qui s'est avéré non significatif. Les résultats ont alors été soumis à une analyse de variance à 2 facteurs (**ANOVA 2**) afin de déterminer l'effet de l'alimentation séquentielle à base d'orge (**Effet Alimentation**) et celui de la supplémentation alimentaire en complexe enzymatique (**Effet Enzyme**) sur les différents paramètres considérés. Les différences entre traitements ont été comparées avec le test de Bonferroni. Le seuil de signification choisi est d'au moins 5%. Toutes ces analyses ont été effectuées à l'aide du programme StatView (Abacus Concepts, 1996, Inc., Berkeley, CA94704-1014, USA).



Dans cet essai, nous examinons l'effet d'une alimentation séquentielle (AS) à base d'orge associée ou non à une supplémentation alimentaire en enzymes (E) sur différents paramètres zootechniques et physiologiques du poulet de chair, au cours d'un cycle complet de croissance (56 jours).

I. Performances zootechniques

I.1. Mortalité

Les taux de mortalité enregistrés durant l'essai chez les 4 lots expérimentaux sont mentionnés dans le tableau 10 et illustrés par la figure 8. L'analyse statistique (ANOVA à 2 facteurs) montre qu'il n'y a pas d'effet « **Alimentation** » ni d'effet « **Enzyme** » sur les taux de mortalité relevés, et ce quelque soit la période d'élevage considérée. Notons toutefois qu'à la fin de l'essai, la mortalité cumulée (J1-J56) enregistrée chez les lots AS et E semble plus élevée que celle relevée chez les témoins : +18 et +10%, respectivement. En revanche, la mortalité cumulée des lots T et ASE sont quasi identiques.

Tableau 10. Taux de mortalité, par phase d'élevage et cumulé, des poulets nourris avec un aliment standard (lot **T**) ou supplémenté en enzymes (lot **E**) et des poulets recevant une alimentation séquentielle à base d'orge avec (lot **ASE**) ou sans ajout d'enzymes (lot **AS**) (Moyennes, n=7, SEM=erreur standard moyenne).

	Lots expérimentaux				SEM	ANOVA 2 (P =)		
	T	E	AS	ASE		Alimentation	Enzyme	Interaction
Mortalité (%)								
Démarrage (J1 - J10)	0,57	0,57	0,43	0,57	0,25	NS	NS	NS
Croissance (J10 - J42)	1,44	1,45	0,95	1,68	0,42	NS	NS	NS
Finition (J42 - J56)	1,22	0,74	0,71	0,97	0,49	NS	NS	NS
Cumulé (J1 - J49)	2,41	2,41	1,66	2,64	0,61	NS	NS	NS
Cumulé (J1 - J56)	2,65	2,93	3,14	2,64	0,83	NS	NS	NS

NS=non significatif (P>0,05)

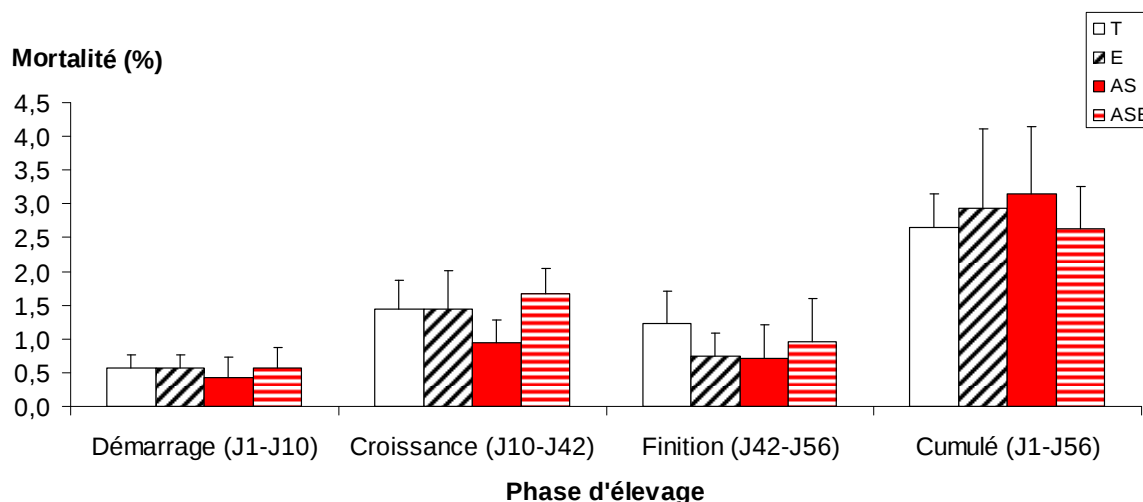


Figure 8. Mortalité (%), par phase d'élevage et cumulé, des poulets nourris avec un aliment standard (lot T) ou supplémenté en enzymes (lot E) et des poulets recevant une alimentation séquentielle à base d'orge avec (lot ASE) ou sans ajout d'enzymes (lot AS). (Moyennes $\pm$ SE ; n=7).

I.2. Poids vif et gain de poids

Les valeurs moyennes de poids vifs et de gain de poids mesurés durant l'essai sont reportées dans le tableau 11 et illustrées par les figures 9 et 10.

Au début de l'essai (J1), les poulets des différents lots expérimentaux avaient des poids vifs initiaux quasi similaires : $42,1 \pm 0,2$ g. De même, à J10, le poids vif des poulets supplémentés en enzymes n'est pas significativement modifié : +4% ($P=0,06$) et +1% ($P=0,72$) chez les lots E et ASE par rapport aux poulets des lots T et AS, respectivement. Néanmoins, le gain de poids à la fin de la phase « Démarrage » enregistré chez le lot E est significativement supérieur à celui du lot T : +5% ($P<0,05$). Ceci n'est pas retrouvé chez le lot ASE comparé au lot T (+2%, $P=0,37$) ou au lot AS (+1%, $P=0,70$). Par la suite, l'ANOVA 2 révèle un effet significatif, à la fois du mode d'alimentation et de l'enzyme, sans interaction entre les 2 facteurs, sur les poids vifs des poulets enregistrés à J28, J42, J49 et J56. Ainsi, l'alimentation séquentielle à base d'orge a significativement réduit le poids vif des sujets, qu'ils soient supplémentés ou non en enzymes (-5% en moyenne à J29, J42, J49 et J56 ; $P<0,05$). En effet, les gains de poids des poulets sont significativement réduits chez les poulets soumis à l'AS (-6,5% en moyenne à la phase « Croissance » et -5% pour le gain de poids cumulé ; $P<0,05$) en comparaison avec les lots T et E.



En revanche, l'incorporation d'enzymes dans l'aliment améliore le poids vif des poulets quelque soit le mode d'alimentation (continu ou séquentiel). Ainsi, le poids vif des poulets des lots E et ASE augmente en moyenne de 3,5% à J29 ($P<0,05$), J49 ($P<0,05$) et à J56 ($P=0,06$) par rapport à celui des animaux des lots T et AS, respectivement. Le gain de poids cumulé des poulets supplémentés en enzymes, lots E et ASE, est amélioré d'environ 4% en moyenne par rapport au lot T ($P<0,05$) et au lot AS ($P=0,07$), respectivement.

Tableau 11. Poids vif moyen et gain de poids moyen, par phase d'élevage et cumulé, des poulets nourris avec un aliment standard (lot T) ou supplémenté en enzymes (lot E) et des poulets recevant une alimentation séquentielle à base d'orge avec (lot ASE) ou sans ajout d'enzymes (lot AS). (Moyennes, $n=7$, SEM=erreur standard moyenne).

	Lots expérimentaux				SEM	ANOVA 2 (P =)		
	T	E	AS	ASE		Alimentation	Enzyme	Interaction
Poids vif (g)								
J1	42,1 ^a	41,6 ^a	42,3 ^a	42,4 ^a	0,2	NS	NS	NS
J10	201 ^a	208 ^a	203 ^a	205 ^a	3	NS	0,120	NS
J28	1096 ^b	1135 ^c	1055 ^a	1088 ^{ab}	13	***	*	NS
J42	2103 ^{bc}	2131 ^c	1959 ^a	2035 ^b	25	***	*	NS
J49	2514 ^b	2615 ^c	2413 ^a	2483 ^b	32	***	**	NS
J56	2944 ^{bc}	3055 ^c	2806 ^a	2900 ^{ab}	40	***	*	NS
Gain de poids (g)								
Démarrage (J1 - J10)	159 ^a	167 ^b	161 ^{ab}	162 ^{ab}	3	NS	NS	NS
Croissance (J10 - J42)	1902 ^c	1922 ^c	1756 ^a	1830 ^b	25	***	0,072	NS
Finition (J42 - J56)	841 ^a	924 ^a	847 ^a	865 ^a	33	NS	NS	NS
Cumulé (J1 - J49)	2472 ^b	2585 ^c	2370 ^a	2453 ^{ab}	32	***	**	NS
Cumulé (J1 - J56)	2902 ^b	3025 ^c	2764 ^a	2870 ^{ab}	40	***	**	NS

^{a-c} Les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes ($P<0,05$).

* $P<0,05$; ** $P<0,01$; *** $P<0,001$.

NS=non significatif ($P>0,05$)

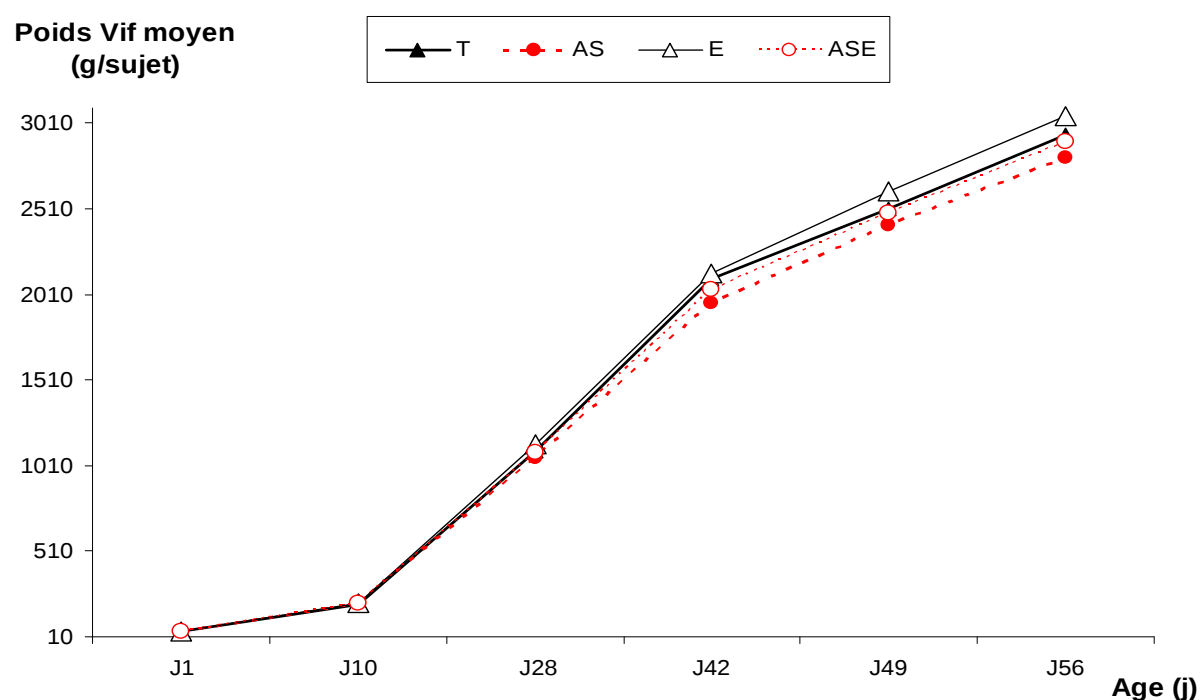


Figure 9. Evolution du poids vif moyen, entre l'âge de 1 et 56 jours, chez les poulets nourris avec un aliment standard (lot **T**) ou supplémenté en enzymes (lot **E**) et des poulets recevant une alimentation séquentielle à base d'orge avec (lot **ASE**) ou sans ajout d'enzymes (lot **AS**). (Moyennes±SE, n=7).

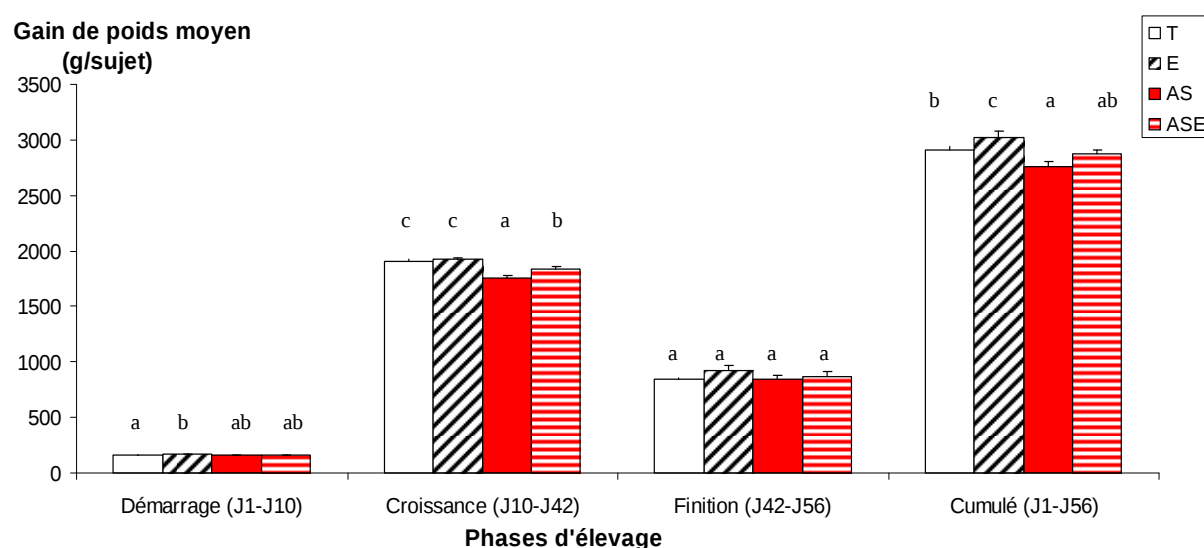


Figure 10. Gain de poids moyen, par phase d'élevage et cumulé, des poulets nourris avec un aliment standard (lot **T**) ou supplémenté en enzymes (lot **E**) et des poulets recevant une alimentation séquentielle à base d'orge avec (lot **ASE**) ou sans ajout d'enzymes (lot **AS**). (Moyennes±SE, n=7).



I.3. Consommation alimentaire

Les quantités d'aliments consommées durant l'essai par les poulets des différents lots expérimentaux sont présentées dans le tableau 12 et la figure 11.

D'après l'analyse statistique, l'effet « **Alimentation** » est significatif sur l'ingéré aux deux phases « Croissance » ($P<0,05$) et « Finition » ($P<0,0001$) et sur l'ingéré cumulé en fin d'essai ($P<0,0001$). Ainsi, avec ou sans apport d'enzymes exogènes, l'alimentation séquentielle à base d'orge réduit la quantité d'aliments ingérées : -3,5% en moyenne en phase de Croissance ($P<0,06$), -15% en moyenne en période de Finition ($P<0,001$) et -8,5% en moyenne pour la période cumulée de J0 à J56 ($P<0,001$).

Par ailleurs, l'effet « **Enzyme** » sur l'ingéré alimentaire est significatif quelque soit la phase d'élevage considérée. En effet, l'ajout d'enzymes dans l'aliment augmente la consommation alimentaire des poulets d'environ 3%, durant les phases de Démarrage ($P<0,05$) et de Croissance ($P=0,15$) et de 7% en période de Finition ($P<0,05$). La consommation cumulée est ainsi significativement supérieure en fin d'essai (J1-J56) : +5,5% en moyenne chez les lots E et ASE par rapport aux lots T et AS, respectivement ($P<0,01$).

Tableau 12. Ingéré alimentaire moyen, par phase d'élevage et cumulé, des poulets nourris avec un aliment standard (lot T) ou supplémenté en enzymes (lot E) et des poulets recevant une alimentation séquentielle à base d'orge avec (lot ASE) ou sans ajout d'enzymes (lot AS) (Moyennes, $n=7$, SEM=erreur standard moyenne).

	Lots expérimentaux				SEM	ANOVA 2 (P =)		
	T	E	AS	ASE		Alimentation	Enzyme	Interaction
Ingéré alimentaire (g)								
Démarrage (J1 - J10)	295 ^a	305 ^b	296 ^a	299 ^{ab}	3	NS	*	NS
Croissance (J10 - J42)	3849 ^{ab}	3961 ^b	3700 ^a	3846 ^{ab}	52	*	*	NS
Finition (J42 - J56)	2911 ^c	3114 ^d	2458 ^a	2671 ^b	133	***	***	NS
Cumulé (J1 - J49)	5580 ^b	5738 ^b	5141 ^a	5346 ^a	76	***	*	NS
Cumulé (J1 - J56)	7054 ^b	7381 ^c	6454 ^a	6815 ^b	86	***	***	NS

^{a-d} Les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes ($P<0,05$).

* $P<0,05$; *** $P<0,001$.

NS=non significatif ($P>0,05$)

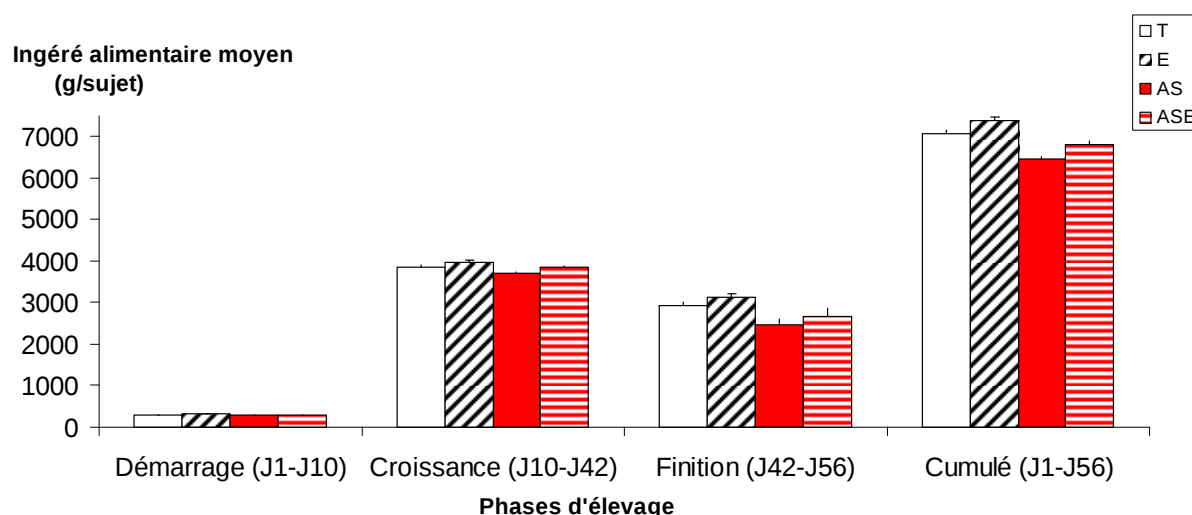


Figure 11. Ingéré alimentaire moyen, par phase d'élevage et cumulé, des poulets nourris avec un aliment standard (lot **T**) ou supplémenté en enzymes (lot **E**) et des poulets recevant une alimentation séquentielle à base d'orge avec (lot **ASE**) ou sans ajout d'enzymes (lot **AS**) (Moyennes $\pm$ SE, n=7).

I.4. Indice de consommation et indice de conversion alimentaires

Les indices de conversion et de consommation relevés durant l'expérimentation sont présentés dans le tableau 13 et la figure 12.

L'analyse de variance montre que l'effet « **Alimentation** » tend à être significatif pour l'indice de conversion alimentaire des phases « Croissance » ($P=0,10$) et « Finition » ($P=0,07$) et est significatif pour l'indice de conversion cumulé pour la période J1-J56 ($P<0,05$). De même, l'effet « **Alimentation** » sur l'indice de consommation tend à être significatif à la phase « Croissance » ($P=0,16$) et devient hautement significatif en période de « Finition » ($P<0,0001$) et sur l'indice de consommation cumulé en fin d'essai ($P<0,05$). Ainsi, en période de « Croissance », les indices de conversion et de consommation des lots AS et ASE semblent plus élevés que ceux des lots T et E, respectivement : +3,5 ($P>0,18$) et +2% ($P>0,44$), en moyenne. En période de « Finition », les indices de conversion tendent au contraire à être plus faibles chez les animaux soumis à l'alimentation séquentielle (AS et ASE) en comparaison avec ceux des poulets alimentés en mode continu (T et E) : -2% en moyenne ($P>0,16$). Pour cette même phase, les indices de consommation des lots AS et ASE sont significativement plus faibles que ceux des lots T et E, respectivement : -10,5% en moyenne ($P<0,0001$). A la fin de l'essai, l'indice de conversion et l'indices de consommation cumulés (J1-J56) tendent à être réduits chez les lots AS et ASE par rapport aux lots T et E : en moyenne -4% ($P=0,06$) et -3% ($P=0,18$), respectivement.



D'après l'ANOVA2, l'effet « **Enzyme** » n'est significatif que pour l'indice de consommation de la phase de « Finition » ($P<0,05$) avec néanmoins une tendance statistique pour l'indice de conversion « Finition » ($P=0,141$). En effet, les indices de conversion et de consommations des périodes « Démarrage », « Croissance » et « Cumulée » ne sont pas statistiquement différents entre les lots E et ASE, comparés aux lots T et AS (variations non significatives d'environ 1% en moyenne), sauf en période de finition, où les indices de consommations des poulets supplémentés en enzymes tendent ($P=0,07$) à être réduits (-4% en moyenne) par rapports aux sujets des lots T et AS.

Tableau 13. Indice de consommation et indice de conversion alimentaires, par phase d'élevage et cumulé, des poulets nourris avec un aliment standard (lot **T**) ou supplémenté en enzymes (lot **E**) et des poulets recevant une alimentation séquentielle à base d'orge avec (lot **ASE**) ou sans ajout d'enzymes (lot **AS**) (Moyennes, $n=7$, SEM=erreur standard moyenne).

	Lots expérimentaux				SEM	ANOVA 2 (P =)		
	T	E	AS	ASE		Alimentation	Enzyme	Interaction
Indice de Consommation alimentaire								
Démarrage (J1 - J10)	1,47 ^a	1,47 ^a	1,46 ^a	1,46 ^a	0,02	NS	NS	NS
Croissance (J10 - J42)	1,83 ^a	1,86 ^a	1,89 ^a	1,89 ^a	0,03	0,161	NS	NS
Finition (J42 - J56)	0,99 ^b	1,02 ^b	0,88 ^a	0,92 ^a	0,02	***	*	NS
Cumulé (J1 - J49)	2,22 ^a	2,20 ^a	2,13 ^a	2,16 ^a	0,03	0,065	NS	NS
Cumulé (J1 - J56)	2,40 ^{ab}	2,42 ^b	2,30 ^a	2,35 ^{ab}	0,03	*	NS	NS
Indice de Conversion alimentaire								
Démarrage (J1 - J10)	1,87 ^a	1,83 ^a	1,84 ^a	1,85 ^a	0,03	NS	NS	NS
Croissance (J10 - J42)	2,02 ^a	2,06 ^a	2,11 ^a	2,10 ^a	0,04	0,100	NS	NS
Finition (J42 - J56)	0,66 ^b	0,65 ^{ab}	0,65 ^{ab}	0,64 ^a	0,00	0,069	0,141	NS
Cumulé (J1 - J49)	2,26 ^a	2,23 ^a	2,17 ^a	2,19 ^a	0,03	0,075	NS	NS
Cumulé (J1 - J56)	2,43 ^{ab}	2,44 ^b	2,34 ^a	2,38 ^{ab}	0,03	*	NS	NS

^{a-b} Les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes ($P<0,05$).

* $P<0,05$; *** $P<0,001$. NS=non significatif ($P>0,05$)

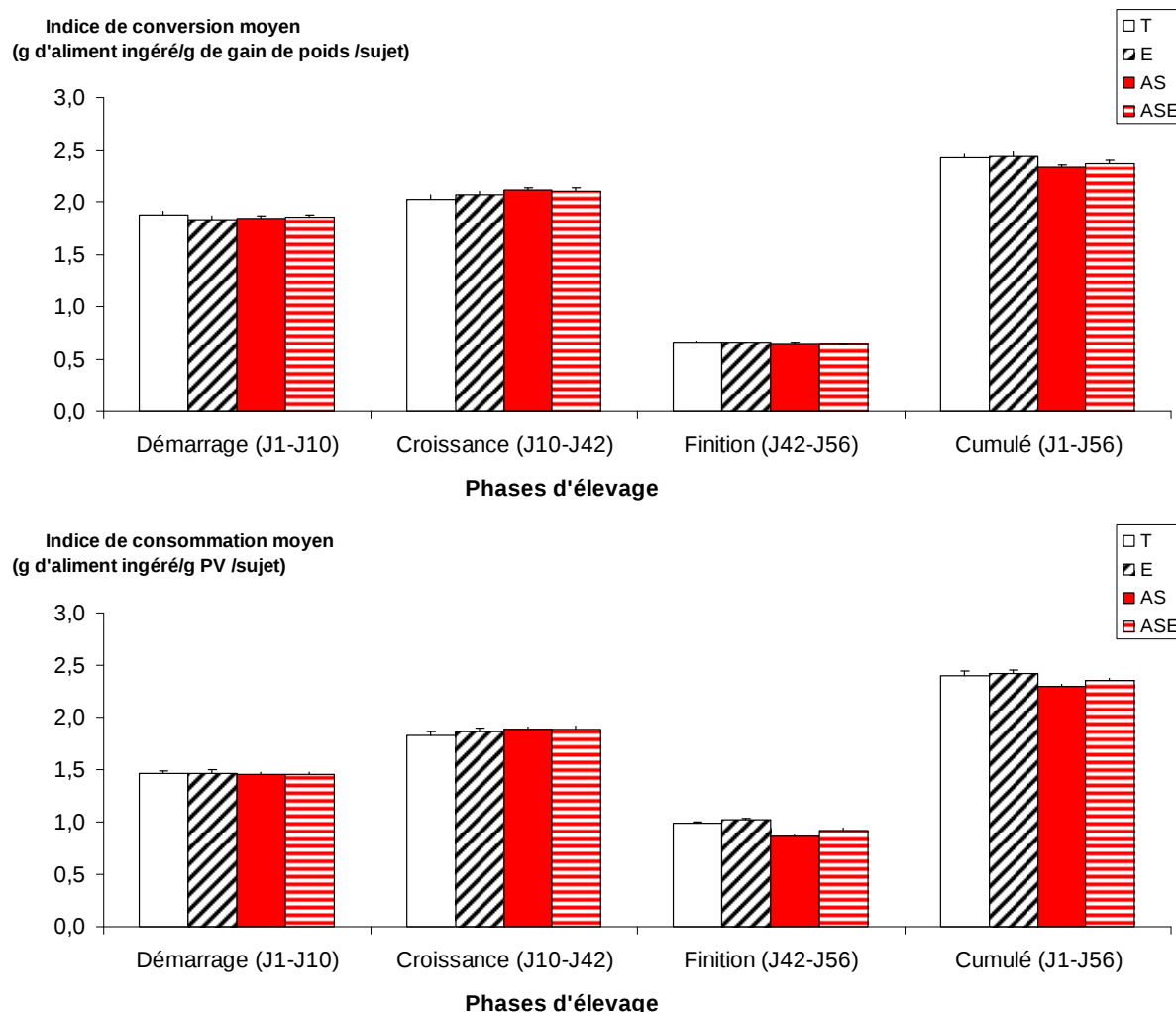


Figure 12. Indice de consommation et indice de conversion alimentaires, par phase d'élevage et cumulé, des poulets nourris avec un aliment standard (lot T) ou supplémenté en enzymes (lot E) et des poulets recevant une alimentation séquentielle à base d'orge avec (lot ASE) ou sans ajout d'enzymes (lot AS). (Moyennes $\pm$ SE, n=7).

II. Caractéristiques de la carcasse

Les poids de la carcasse prête à cuire, du gras abdominal, du foie et du gésier mesurés à la fin de l'essai (56 jours) sur 10 poulets par lot expérimental, sont présentés dans le tableau 14 et la figure 13.

L'ANOVA 2 montre qu'il n'y a pas d'effet « **Alimentation** », ni d'effet « **Enzyme** » sur le poids de la carcasse prête à cuire et sur le poids du gras abdominal, qu'ils soient exprimés en g ou rapportés au poids vif. En revanche, l'effet « **Alimentation** » est significatif pour le poids du gésier, exprimé en g ou en % du PV : augmentations respectives de 11% ($P>0,15$) et de 18,5% ($P<0,05$), en moyenne entre les lots AS et ASE comparés aux lots T et



E. Concernant le foie, exprimé en grammes, l'effet « **Alimentation** » tend à être significatif ($P=0,08$) alors que l'effet « **Enzyme** » est hautement significatif ($P<0,001$), sans interaction entre ces deux facteurs. Celle-ci devient significative lorsque le poids du foie est rapporté au poids vif ($P<0,05$). Ainsi, l'alimentation séquentielle et l'ajout d'enzymes augmentent significativement la proportion du foie de 12% en moyenne ($P<0,001$).

Tableau 14. Caractéristiques de la carcasse mesurées à l'âge de 56 jours chez des poulets nourris avec un aliment standard (lot **T**) ou supplémenté en enzymes (lot **E**) et des poulets recevant une alimentation séquentielle à base d'orge avec (lot **ASE**) ou sans ajout d'enzymes (lot **AS**). (Moyennes, $n=10$, SEM=erreur standard moyenne, PV: poids vif, PAC : carcasse prête à cuire).

	Lots expérimentaux				SEM	ANOVA 2 (P =)		
	T	E	AS	ASE		Alimentation	Enzyme	Interaction
PV (g)	3213 ^b	3224 ^b	2950 ^a	3080 ^{ab}	92	*	NS	NS
Carcasse PAC								
(g)	2370 ^a	2374 ^a	2150 ^a	2303 ^a	81	NS	NS	NS
(g/100g PV)	73,8 ^a	73,6 ^a	72,8 ^a	74,8 ^a	1,2	NS	NS	NS
Foie								
(g)	57,2 ^a	62,3 ^b	57,6 ^{ab}	68,2 ^c	1,77	0,082	***	NS
(g/100g PV)	1,79 ^a	1,94 ^b	1,95 ^b	2,2 ^c	1,23	***	***	*
Gésier vide								
(g)	45,1 ^a	48,7 ^a	50,3 ^{ab}	53,7 ^b	2,3	*	NS	NS
(g/100g PV)	1,40 ^a	1,51 ^a	1,70 ^b	1,73 ^b	0,04	***	NS	NS
Gras abdominal								
(g)	99,6 ^a	92,6 ^a	93,0 ^a	94,5 ^a	3,17	NS	NS	NS
(g/100g PV)	3,15 ^a	2,92 ^a	3,15 ^a	3,06 ^a	0,12	NS	NS	NS

^{a-c} Les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes ($P<0,05$).

* $P<0,05$; *** $P<0,001$.

NS=non significatif ($P>0,05$)

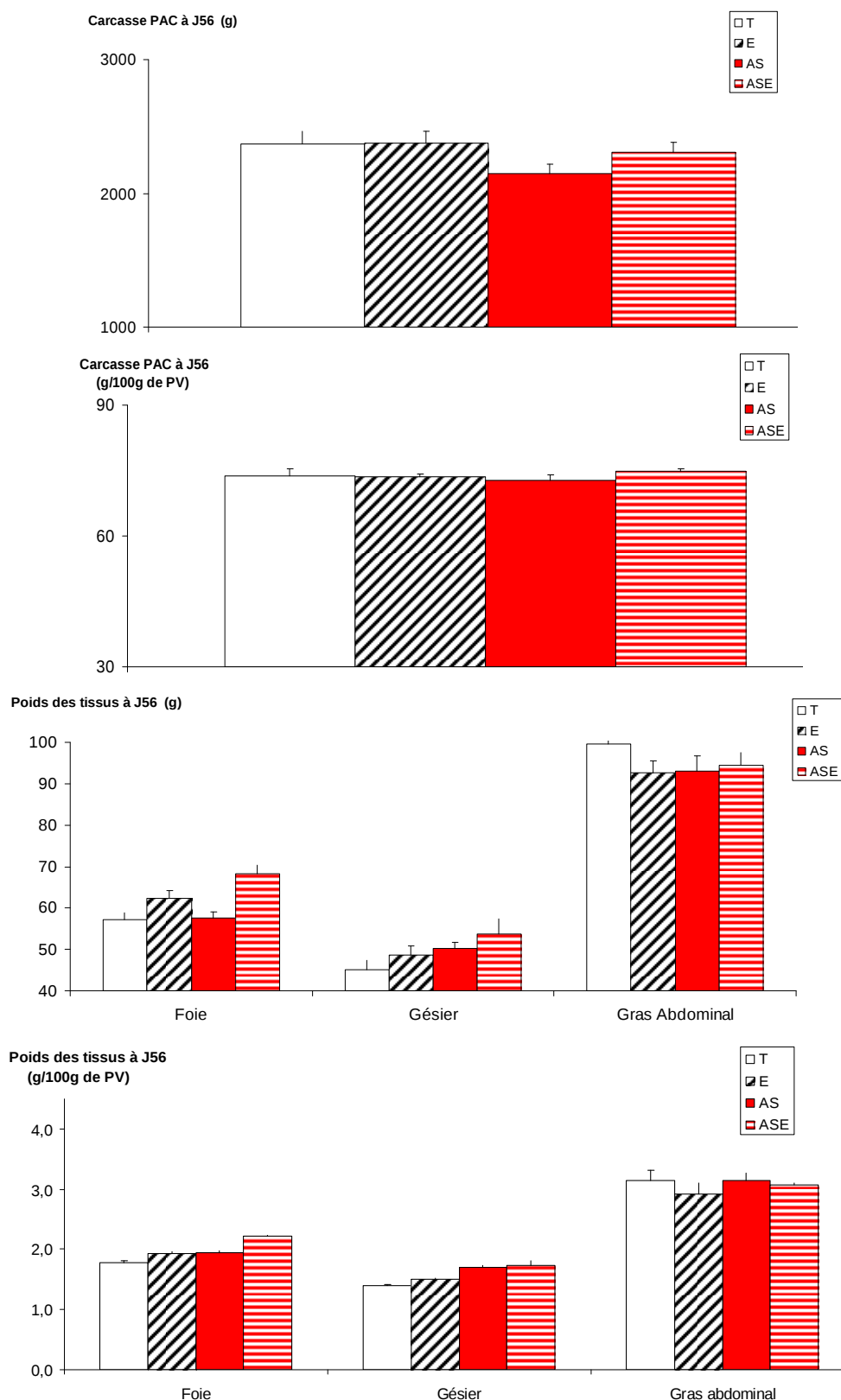


Figure 13. Caractéristiques de la carcasse mesurées à l'âge de 56 jours chez des poulets nourris avec un aliment standard (lot **T**) ou supplémenté en enzymes (lot **E**) et des poulets recevant une alimentation séquentielle à base d'orge avec (lot **ASE**) ou sans ajout d'enzymes (lot **AS**) (Moyennes±SE, n=10, PAC : carcasse prête à cuire, PV : poids vif).



III. Flore totale de lactobacilles

Les résultats relatifs aux nombre total lactobacilles, mesuré à la fin de l'essai chez 7 sujets par traitement, sont présentés dans le tableau 15 et la figure 14.

L'ANOVA2 montre que l'effet « **Alimentation** » et l'effet « **Enzyme** » sont tout deux hautement significatifs sur le nombre de lactobacilles digestifs et que l'interaction entre ces 2 facteurs l'est également ($P < 0,001$).

Le nombre global de colonies lactobacillaire est augmenté chez les lots E, AS et ASE (+2%, +10% et +2%, respectivement) par rapport au lot T ($P < 0,001$). Ces augmentations sont en moyenne de 6,5% ($P < 0,05$) lorsque ce nombre est rapporté au poids vif des animaux.

Tableau 15. Nombre total de lactobacilles mesurés à l'âge de 56 jours chez des poulets nourris avec un aliment standard (lot T) ou supplémenté en enzymes (lot E) et des poulets recevant une alimentation séquentielle à base d'orge avec (lot ASE) ou sans ajout d'enzymes (lot AS) (Moyennes, $n=7$, SEM=erreur standard moyenne, UFC : unités formant colonies, PV : poids vif).

	Lots expérimentaux				SEM	ANOVA 2 (P =)		
	T	E	AS	ASE		Alimentation	Enzyme	Interaction
Poids Vif (kg)	2,76 ^{ab}	2,87 ^b	2,63 ^a	2,72 ^a	0,04	**	*	NS
Nombre total de lactobacilles (log de 10 UFC)								
(/pool)	6,57 ^a	7,24 ^b	6,73 ^c	6,87 ^d	0,02	***	***	***
(/kg de PV)	2,39 ^a	2,52 ^b	2,56 ^b	2,53 ^b	0,04	*	0,174	*

^{a-d} Les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes ($P < 0,05$).

* $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$. NS=non significatif ($P > 0,05$)

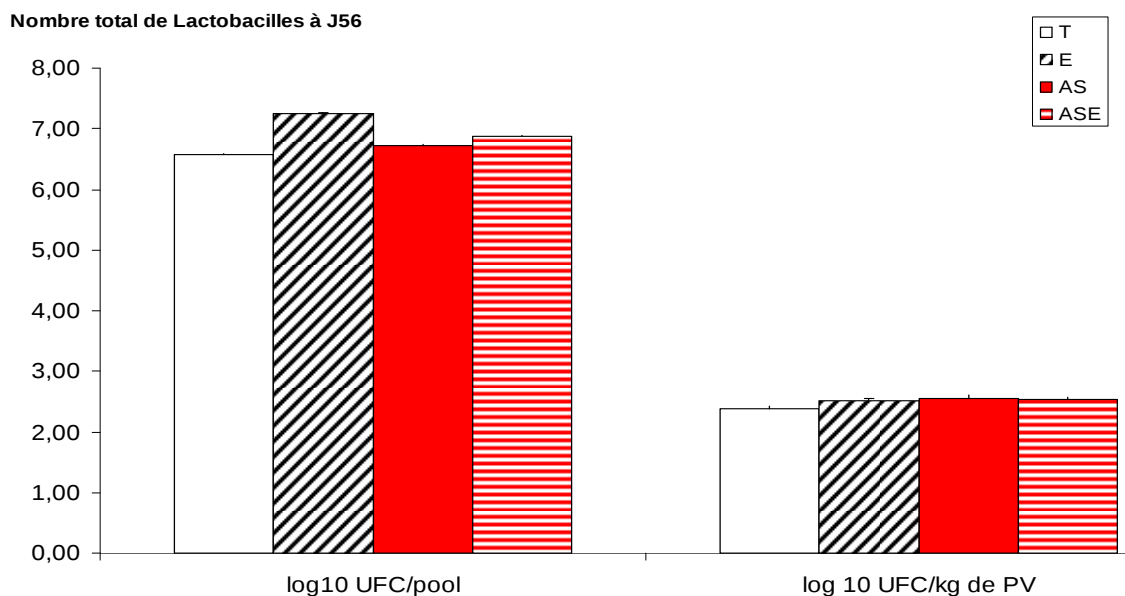


Figure 14. Nombre total de lactobacilles mesurés à l'âge de 56 jours chez des poulets nourris avec un aliment standard (lot T) ou supplémenté en enzymes (lot E) et des poulets recevant une alimentation séquentielle à base d'orge avec (lot ASE) ou sans ajout d'enzymes (lot AS). (Moyennes $\pm$ SE, n=7, UFC : unités formant colonies).

IV. Paramètres métaboliques sanguins

Les teneurs plasmatiques des principaux métabolites mesurés à la fin de la période expérimentale (J56) sur 7 poulets par lot, sont présentés dans le tableau 16 et illustrés par la figure 15. Globalement, l'ANOVA2 révèle un effet hautement significatif ($P < 0,0001$) du facteur « **Alimentation** » et du facteur « **Enzyme** » sur les taux plasmatiques de cholestérol, de triglycérides et créatinine, avec une interaction significative pour ces deux derniers paramètres. Pour les concentrations plasmatiques de protéines totales, seuls le facteur « **Enzyme** » et son interaction avec le facteur « **Alimentation** » sont significatifs ($P < 0,01$).

Les taux plasmatiques de cholestérol sont augmentés de 32% ($P < 0,0001$) en moyenne entre les lots AS et ASE, comparés aux lots T et E, respectivement. Notons que les poulets supplémentés en enzymes présentent des cholestérolémies supérieures d'environ 14% ($P < 0,05$) par rapport à celles des animaux nourris avec l'aliment de base.

Les taux plasmatiques de triglycérides (TG) sont comparables entre les sujets des lots T et E (écart non significatif de 2%). En revanche, ces valeurs sont significativement plus faibles chez les poulets du lot AS (-15%, $P < 0,05$) et plus élevées chez ceux du lot ASE (+50%, $P < 0,001$) par rapport aux animaux témoins.

L'urémie est diminuée de 11% chez le lot AS par rapport au lot T alors que la variation observée entre les lots ASE et E n'est pas significative (+8%, $P > 0,05$). De même, les écarts observés



entre les urémies des poulets du lot E et ceux du lot T ne sont pas significatifs (-7%, $P>0,05$). En revanche, les urémies des poulets du lot ASE sont significativement plus élevées que celles des sujets du lot AS (+12%, $P<0,05$).

Pour la créatinémie, celle-ci est diminuée d'environ 33% ($P<0,001$) chez les lots AS, E et ASE comparés au lot T. En revanche, les **concentrations plasmatiques en protéines totales** des poulets AS, E et ASE sont augmentées respectivement de 13% ($P=0,14$), 37% ($P<0,001$) et 16% ($P=0,16$), par rapport aux animaux Témoins.

Les glycémies sont significativement réduites de 25% ($P<0,01$) en moyenne, entre les lots AS et ASE, comparés aux lots T et E. Celles des poulets du lot E sont aussi diminuées de 27% ($P<0,001$) en comparaison avec le lot T. En revanche, les teneurs plasmatiques en glucose sont comparables chez les poulets des lots ASE et AS: baisse non significative de 2%.

Tableau 16. Teneurs plasmatiques en glucose, cholestérol, triglycérides, urée, créatinine et protéines totales, mesurées à l'âge de 56 jours chez des poulets nourris avec un aliment standard (lot T) ou supplémenté en enzymes (lot E) et des poulets recevant une alimentation séquentielle à base d'orge avec (lot ASE) ou sans ajout d'enzymes (lot AS) (Moyennes, $n=7$, SEM=erreur standard moyenne).

	Lots expérimentaux				SEM	ANOVA 2 (P =)		
	T	E	AS	ASE		Alimentation	Enzyme	Interaction
Cholestérol (g/l)	0,86 ^a	0,99 ^b	1,14 ^c	1,30 ^d	0,04	***	**	NS
Triglycérides (g/l)	0,52 ^b	0,51 ^{ab}	0,44 ^a	0,79 ^c	0,03	***	***	***
Urée (g/l)	0,057 ^b	0,053 ^{ab}	0,051 ^a	0,057 ^b	0,00	NS	NS	0,082
Glucose (g/l)	2,68 ^a	1,96 ^b	1,72 ^c	1,69 ^c	0,06	NS	NS	NS
Créatinine (mg/l)	2,68 ^b	1,96 ^b	1,72 ^a	1,69 ^a	0,06	***	***	***
Protéines Totales (mg/l)	26,87 ^a	36,82 ^b	30,39 ^a	31,22 ^a	1,62	NS	***	**

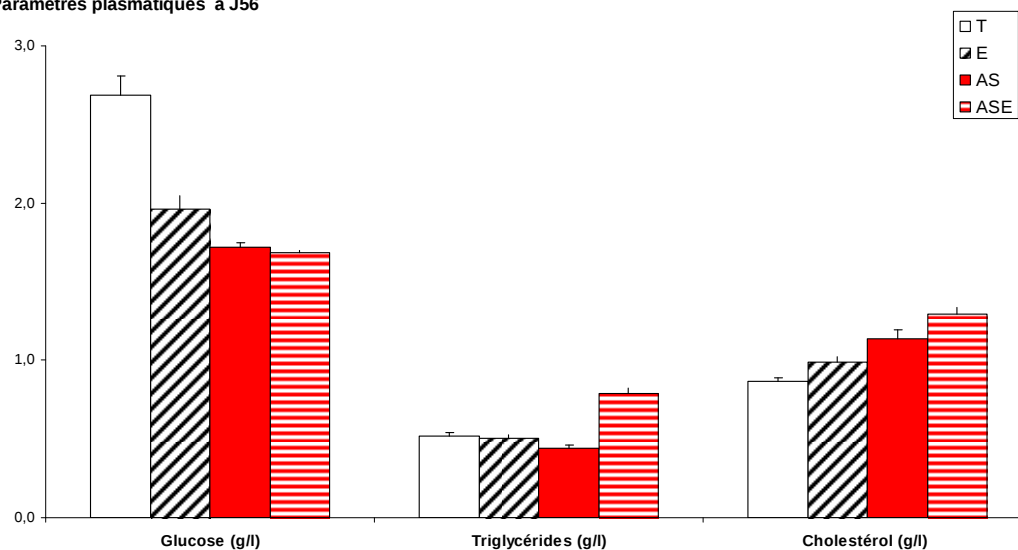
^{a-c} Les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes ($P<0,05$).

** $P<0,01$; *** $P<0,001$.

NS=non significatif ($P>0,05$)



Paramètres plasmatiques à J56



Paramètres plasmatiques à J56

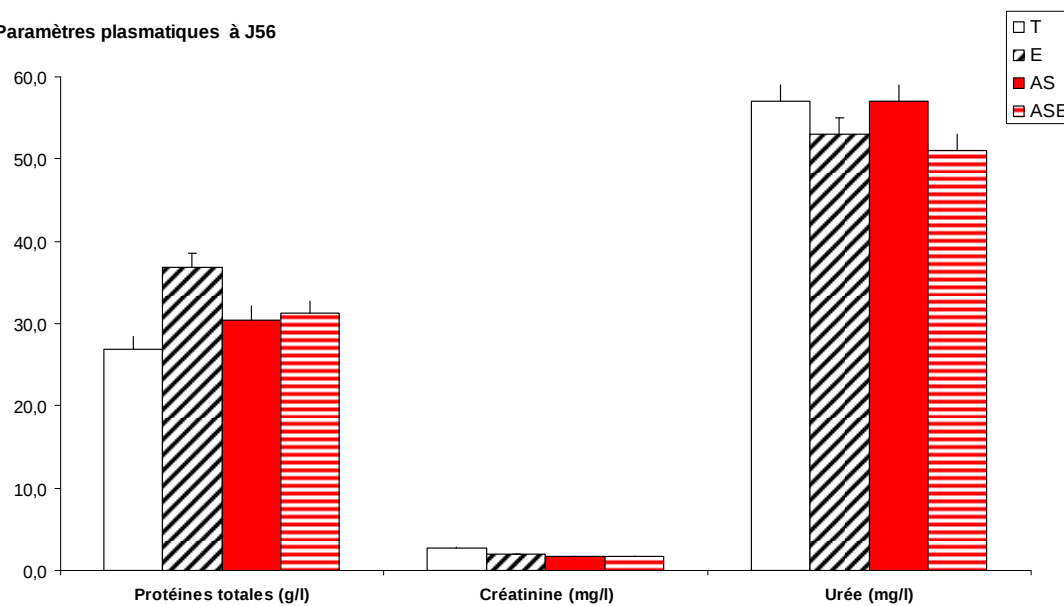


Figure 15. Teneurs plasmatiques en glucose, cholestérol, triglycérides, urée, créatinine et protéines totales, mesurées à l'âge de 56 jours chez des poulets nourris avec un aliment standard (lot **T**) ou supplémenté en enzymes (lot **E**) et des poulets recevant une alimentation séquentielle à base d'orge avec (lot **ASE**) ou sans ajout d'enzymes (lot **AS**). (Moyennes $\pm$ SE, n=7).



Notre objectif, dans cet essai, était d'étudier, dans nos conditions locales, l'impact d'une alimentation séquentielle basée sur une distribution de grains d'orge entiers en alternance avec un aliment standard complet, supplémenté ou non avec des additifs enzymatiques, sur les paramètres zootechniques et physiologiques du poulet de chair durant un cycle d'élevage complet.

Alimentation séquentielle & supplémentation en enzymes chez le poulet ...

... Aspects méthodologiques

Dans cette étude, **l'alimentation séquentielle** a été appliquée à partir du 15^{ème} jour d'âge jusqu'à l'abattage (J56) et comportait 2 séquences alimentaires, soit une distribution séparée de grains d'orge durant 6h/j et l'aliment standard complémentaire le reste de la journée (18h/j). Les grains d'orge distribués étaient sous forme concassée durant la période « Croissance » (de J15 à J35) et sous forme de grain entier en phase de « Finition ».

L'âge d'introduction de la céréale en grain dépend des aptitudes d'apprentissage du poussin qui sont un des facteurs influençant la sélection alimentaire (Noirot *et al.*, 1998). Jusqu'à 3 à 5 jours d'âge, l'association des caractéristiques sensorielles de l'aliment et de ses conséquences nutritionnelles se fait de façon imprécise car le développement du cerveau n'est pas achevé, et la persistance du résidu vitellin interfère avec la perception des besoins nutritionnels exogènes (Covasa et Forbes, 1996). Après une semaine d'âge, l'âge absolu d'introduction de la céréale en alimentation séparée ne semble pas modifier la durée de la période d'adaptation nécessaire pour constituer un régime globalement équilibré (Yo *et al.*, 1997). Cette période est variable : elle est fonction des différences de présentation et de composition du régime précédant le choix entre une céréale et un aliment complémentaire (Rose et Kyriasakis, 1991).

La durée de la séquence « orge » appliquée dans notre essai (6h) est dans la moyenne des durées préconisées dans de nombreuses études. En effet, il semble qu'une durée intermédiaire, de l'ordre de 6 à 8 heures, soit préférable car si les séquences sont trop courtes (4 heures, par exemple), le poulet peut exprimer un rejet de la céréale et jeûner jusqu'à la



séquence « aliment complémentaire » qui suit. Des séquences supérieures à 12 h peuvent mettre l'animal en situation de carence nutritionnelle (Rose *et al.*, 1995).

Les préparations enzymatiques actuellement commercialisées pour le traitement des orges sont des mélanges d'enzymes à activités multiples et variées, comportant des bêta-glucanases, des cellulases, des amylases, des hémicellulases, et des protéases (Benabdeljelil et Arbaoui, 1994 ; Beckers et Piron, 2009). Le complexe enzymatique employé dans cet essai correspond à une préparation commerciale autorisée par la DSV (Direction des Services Vétérinaires, Algérie), composée d'un mélange de 6 enzymes (xylanase, bêta-glucanase, bêta-galactosidase, amylase, protéase et pectinase) dégradant les PNA mais aussi les facteurs antinutritionnels tryptiques qui se trouvent dans l'orge. L'emploi de cet additif enzymatique vise donc à valoriser globalement l'orge distribuée aux poulets. Ce complexe a été incorporé durant tout le cycle d'élevage, à la dose de 0,1% de l'aliment standard Démarrage, Croissance et Finition. La dose utilisée est celle préconisée par le fournisseur.

Les performances de croissance...

...lors d'alimentation séquentielle à base d'orge grains entiers

Dans nos conditions expérimentales, l'alimentation séquentielle à base d'orge a significativement réduit l'ingéré alimentaire (-9%, $P < 0,001$) et la croissance des poulets (-5%, $P < 0,05$). Etant donné que la baisse de consommation est plus importante que celle de la croissance, l'efficacité de transformation alimentaire, reflétée par les indices de consommation et de conversion calculés en fin d'essai, tend à être améliorée par ce mode alimentaire (variations de 4% ; $P = 0,06$).

Par ailleurs, notons que l'amplitude de la baisse de consommation alimentaire induite par l'alimentation séquentielle à base d'orge semble s'accroître avec l'âge : -4% ($P < 0,06$) en phase de croissance et -16% ($P < 0,001$) en phase de finition. Ceci est probablement lié à la qualité de l'aliment (caractéristiques protéique et énergétique de l'aliment complémentaire) et à la granulométrie de l'orge. En effet, celle-ci était présentée sous forme concassée pendant la croissance et sous forme de grains complets en finition. La proportion de céréales consommée est affectée par la présentation physique et la composition de l'aliment complémentaire



(Noirot *et al.*, 1998 ; Picard *et al.*, 2000). Selon MacLean *et al.* (1994), la consommation alimentaire est plus faible entre la 3^{ème} et la 5^{ème} semaine avec les régimes à 20 et 40% d'orge comparés aux régimes à 0 et 60% d'orge (-7% en moyenne) ; mais ces écarts s'amenuisent entre la 5^{ème} et 6^{ème} semaine d'âge. Dans cette étude, contrairement à la notre, l'orge était broyée et mélangée à l'aliment complet.

Dans cet essai, la quantité de grains d'orge consommée par sujet était en moyenne de 600g entre J15 et J56, soit environ 10% de l'ingéré alimentaire global. Dans l'étude de Benabdeljelil (1999), l'inclusion de 15, 20 ou 25% d'orge locale marocaine sans addition d'enzyme dans des aliments de poulets de chair donne lieu à des niveaux de performances comparables à ceux de lots témoins ayant 0 à 10% d'orge. D'après cet auteur, l'altération des performances de croissance et de l'indice de consommation ne s'observe qu'à des niveaux d'inclusion de l'orge supérieurs à 30% des régimes distribués aux poulets de chair.

Toutefois, dans d'autres études, la proportion d'orge incluse dans l'aliment du poulet (20, 40 et 60%) n'a pas d'effets significatifs sur les principaux paramètres zootechniques (croissance, consommation, indice de conversion et mortalité) sauf pour les troubles de l'appareil locomoteur dont l'incidence augmente avec le taux d'orge incorporé dans l'aliment (MacLean *et al.*, 1994).

De même, dans les essais utilisant du blé entier, avec soit un aliment complet traditionnel (Leeson et Caston, 1993 ; Covasa et Forbes, 1994), soit un aliment complémentaire plus riche en protéines (Rose *et al.*, 1995), les performances de croissance sont comparables à celles obtenues avec un aliment complet unique.

En définitive, face à l'alimentation séquentielle incluant des céréales en l'état, l'amplitude des réponses reste variable selon les études. Ceci pourrait s'expliquer probablement par la qualité des régimes alimentaires (céréales de remplacement utilisées) ainsi que la forme de présentation de celles-ci (concassée, broyée ou en grains complets), l'âge d'introduction des céréales graines complètes, la durée d'adaptation et les souches animales (lourdes, légères...) utilisées dans les différentes études.



Les performances de croissance...

...lors de supplémentation en additifs enzymatiques

D'après nos résultats, l'ajout des enzymes à la ration alimentaire augmente de manière significative la quantité globale d'aliment consommé (+6% ; $P < 0,01$) et ce quelque soit le mode d'alimentation (continu ou séquentiel). Ceci serait lié, en partie, à l'effet des enzymes exogènes, qui par leur action sur les fibres alimentaires augmente la prise alimentaire (Perttilä et al., 2001 ; Gabriel, 2005). D'après ces études, la consommation d'aliments est plus élevée avec les régimes supplémentés en enzymes, car l'utilisation des enzymes diminue le temps de rétention des digesta au niveau du gésier et de l'intestin et augmente la motilité intestinale.

L'augmentation de l'ingéré dans nos conditions d'essai s'est traduite par une augmentation du gain de poids cumulé (+4% en moyenne) à la fois en mode alimentaire continu ($P < 0,05$) ou séquentiel ($P < 0,07$).

En mode d'alimentation continue, les effets bénéfiques liés à la supplémentation enzymatique sont observés chez le poulet de chair avec différents types d'aliments (maïs, orge ou blé -tourteau de soja) et se traduisent par une augmentation du gain de poids allant de 1,6 à 3,4% selon les matières premières utilisés dans les aliments (Uzu et Sassi, 2005). Selon MacLean et al. (1994), l'ajout d'une préparation enzymatique dans les régimes à base d'orge améliore significativement la croissance des poulets à 6 semaines ce qui révèle une réaction aux enzymes chez les poulets plus âgés par rapport aux plus jeunes.

En mode d'alimentation séquentielle, à notre connaissance, cet essai représente la première étude évaluant l'effet d'une distribution alternée de la céréale orge (grain complet) et d'un aliment standard supplémenté en enzymes sur la productivité du poulet. Dans nos conditions, l'apport d'enzymes associé à l'incorporation de grains d'orge entiers a significativement amélioré la croissance des poulets comparés à leurs homologues sans additifs enzymatiques (+4% en moyenne). Cette association s'est aussi révélée positive sur la croissance dans la mesure où elle a permis de valoriser l'orge distribuée aux poulets. En effet, les baisses de croissance induites par l'alimentation séquentielle seule (-5% par rapport aux lots T) ne sont plus observées après ajout d'enzymes (écarts non significatifs de 1% entre lots ASE et T).



Globalement, l'orge est une céréale connue pour être très riche en bêta-glucanes et en xylanes qui constituent des facteurs antinutritionnels générateurs d'un certain nombre de problèmes digestifs. Les glucanases et les xylanases contenues dans le complexe enzymatique additionné à l'aliment sont capables d'hydrolyser une bonne partie des PNA (polysaccharides non amylacés) améliorant ainsi la digestibilité des nutriments dans l'intestin grêle et réduisant la viscosité du contenu digestif (Fuente *et al.*, 1995 ; Huyghebaert *et al.*, 1995 ; Scott *et al.*, 2001 ; Timmler *et al.*, 2001). En effet, des mesures réalisées *in vitro* montrent que l'addition de 1% ou 2% d'enzymes (xylanase + bêta-glucanase) diminue d'environ 50% la fraction NDF et de 25% la fraction ADF de 3 variétés d'orge locale tout en réduisant la viscosité de 65% (Alloui *et al.* 2003). Ceci explique l'amélioration de la croissance induite par les additifs enzymatiques (Almirall *et al.*, 1993 ; Almirall et Esteve-Garcia, 1994) comme celle observée dans le présent essai.

Par ailleurs, quelque soit le mode alimentaire, les augmentations de la consommation d'aliment et de la croissance induites par l'incorporation d'additifs enzymatiques sont de même amplitude, ce qui conduit à des indices de consommation et de conversion alimentaires identiques à ceux relevés chez les poulets non supplémentés. Ces résultats ont été également signalés par MacLean *et al.* (1994) lors de supplémentation enzymatique d'aliments à base d'orge (à raison de 20, 40 et 60% d'inclusion) chez les poulets âgés de 3 à 6 semaines.

Les performances de croissance...

...lors d'alimentation séquentielle à base d'orge associée à l'apport d'enzymes

Dans nos conditions, l'association de l'alimentation séquentielle à base d'orge grains entiers avec l'ajout d'enzymes à l'aliment complet a été bénéfique dans la mesure où l'altération des performances induite par l'incorporation de l'orge a été corrigée par la supplémentation enzymatique. Ainsi, comparés aux poulets témoins, la baisse de la consommation alimentaire cumulée est trois fois moins importante chez les sujets du lot ASE (-3% ; $P < 0,06$) par rapport à ceux du lot AS (-9% ; $P < 0,05$). De même, le ralentissement de la croissance des poulets recevant l'orge (-5% ; $P < 0,05$) n'est pas observé chez leurs homologues supplémentés en enzymes (écarts non significatifs de 1%). Enfin, l'efficacité de transformation alimentaire est comparable entre les sujets témoins et ceux soumis



à l'association AS et Enzymes. Ainsi, l'association de ces deux traitements s'est révélée avantageuse puisqu'elle a permis d'introduire l'orge dans l'aliment sans affecter les performances des poulets.

Alimentation séquentielle & supplémentation en enzymes chez le poulet...

...effet sur la mortalité

Dans cette étude, quelque soit le mode alimentaire, continu ou séquentiel, et avec ou sans apport d'enzymes, la survie des poulets n'est pas modifiée. En effet, le taux de mortalité cumulée des sujets traités était en moyenne de $2,90 \% \pm 0,60$ et s'inscrit dans le même ordre des taux mesurés chez les témoins ($2,65\% \pm 0,50$) et de ceux habituellement enregistrés au sein de la station ITELV de Baba-Ali. De même, MacLean *et al.* (1994) rapportent que la proportion d'orge incorporée après broyage dans l'aliment complet unique (20, 40 et 60%) n'a pas d'effets significatifs sur la mortalité à 6 semaines.

Alimentation séquentielle & supplémentation en enzymes chez le poulet...

...effet sur la qualité de la carcasse

D'après nos résultats, le rendement carcasse prête à cuire et la proportion de gras abdominal sont quasi-identiques quelque soit le traitement appliqué (mode alimentaire et supplémentation en additifs enzymatiques) : de l'ordre de $73,8 \pm 1,2$ et $3,07 \pm 0,12$, respectivement. Ce résultat concernant l'adiposité des carcasses, n'est pas retrouvé par dans d'autres études (Benabdeljelil, 1999) qui signalent plutôt une diminution proportionnelle et significative du gras abdominal suite à l'incorporation de taux croissants d'orge (10, 15, 20 30, et 40%) dans l'aliment du poulet de chair.

Concernant le foie, son poids, exprimé en valeur absolu ou rapporté au poids vif du poulet, est significativement augmenté par l'incorporation des grains d'orge dans l'aliment (+9%) et par la supplémentation en enzyme (+8%). Notons que cette augmentation est amplifiée lorsque ces deux traitements sont associés (24% ; $P < 0,001$).

Concernant le gésier, l'alimentation séquentielle a induit un accroissement significatif de son poids (en g) et de sa proportion (en pourcentage du poids vif) qui est de l'ordre



de 11% et de 18%, respectivement. Cet effet sur le développement du gésier a déjà été rapporté par d'autres auteurs (Munt *et al.*, 1995). Il s'expliquerait par le fait qu'un régime comportant des céréales entières rend au gésier son rôle d'organe de broyage (Cumming, 1992 ; Noiro *et al.*, 1999). De plus, l'action des enzymes digestives et du pH bas du proventricule, suivie d'une rétention des particules de céréales pendant une période plus longue dans un gésier mieux développé permettrait aux aliments d'arriver partiellement digérés dans le duodénum, ce qui réduirait la prolifération de bactéries pathogènes telles que *E. coli* dans l'intestin (Cumming, 1992).

Enfin, nos données montrent que l'augmentation du poids du gésier induite par les additifs enzymatiques (+8%) n'atteint pas le seuil de signification statistique ($P < 0,08$) alors que l'association des deux traitements (AS et Enzymes) entraîne un accroissement plus prononcé du poids du gésier, exprimé en g (+19%, $P < 0,05$) ou en rapporté au poids vif de l'animal (+24% ; $P < 0,001$).

Alimentation séquentielle & supplémentation en enzymes chez le poulet...

...effet sur la flore lactobacillaire totale

Dans notre expérimentation, l'incorporation séquentielle de grains entiers d'orge a induit une élévation significative du nombre total de lactobacille au niveau digestif (+2% ; $P < 0,0001$). Ce résultat confirme les données obtenues par d'autres auteurs qui signalent des variations de la flore digestive selon le type de céréales (présentant des taux élevés de polysaccharides non amylacés) ou leur mode de présentation. Ainsi, Mathlouti (2002) observent un accroissement des populations bactériennes anaérobies facultatives, dont les lactobacilles et les coliformes, avec un régime à base de blé et d'orge en substitution du maïs.

Par ailleurs, l'ajout d'enzyme à la ration a davantage élevé le nombre de lactobacilles digestifs, et ce quelque soit le mode d'alimentation (+6% en moyenne ; $P < 0,001$). L'association des deux traitements induit également un accroissement significatif du nombre total de lactobacilles (+5% ; $P < 0,001$) reflétant, probablement, un effet cumulé des enzymes exogènes et de la céréale orge.



Chez le poulet, les bactéries lactiques sont présentes dans la microflore normale (Fuller 1977), localisées au niveau du jabot et du gésier (Gabriel, 2005). Elles sont connues pour leur effet préventif sur les désordres digestifs (Gournier *et al.*, 1994) en acidifiant le milieu ce qui inhibe la croissance de certaines bactéries nocives (Gabriel, 2005). L'enrichissement de la flore lactobacillaire enregistré dans notre étude, laisse supposer un accroissement des capacités défensives vis-à-vis de la flore indésirable et une plus grande participation à la dégradation de la matière végétale. En outre, selon Jin *et al.* (1998), l'activité des enzymes amylases est améliorée en présence des Lactobacilles.

Alimentation séquentielle & supplémentation en enzymes chez le poulet...

...effet sur les marqueurs métaboliques plasmatiques

Dans cette étude, nous avons exploré les principaux indicateurs plasmatiques du métabolisme glucidique (taux de glucose), lipidique (cholestérol, triglycérides) et protéique (urémie, protéinémie et créatinémie) chez le poulet à la fin de l'essai (56J).

Concernant la glycémie, avec ou sans ajout d'enzymes, et quelque soit le mode alimentaire appliqué, les taux de glucose circulants sont significativement plus faibles par rapport aux témoins. Cette baisse de glycémie pourrait refléter soit une diminution d'apport de nutriments glucidiques énergétiques en relation avec la réduction de l'ingéré alimentaire lors d'alimentation séquentielle, ou bien, être consécutive à une augmentation de l'utilisation du glucose par les tissus périphériques.

Par ailleurs, les taux circulants d'urée et de créatinine sont significativement réduits par l'alimentation séquentielle à base d'orge et l'addition d'enzymes dans l'aliment, avec un effet plus prononcé sur la créatinémie. La variation de ces deux métabolites, issus du catabolisme protéique, révèle un effet certain de l'alimentation séquentielle à base d'orge et des enzymes exogènes sur le métabolisme protéiques qui reste toutefois à clarifier.

Le taux de protéines totales plasmatiques est nettement augmenté chez les poulets supplémentés en enzymes. Sachant que 80% des protéines plasmatiques sont d'origine hépatique, cette élévation de la protéinémie corrobore celle de la proportion du foie enregistrée chez ces mêmes poulets (Tesseraud, 1995). Notons que la présence d'une protéase



dans le complexe enzymatique additionné à l'aliment pourrait contribuer à augmenter l'apport d'acides aminés d'origine alimentaire.

Quant aux indicateurs du métabolisme lipidique, d'après nos résultats, les cholestérolémies sont significativement supérieures chez les poulets soumis à l'alimentation séquentielle et à la supplémentation alimentaire en enzymes. En revanche, comparés aux témoins, les taux de triglycérides (TG) sont réduits chez les poulets soumis à l'alimentation séquentielle à base d'orge, seule (-15% ; $P < 0,05$) mais ne sont pas modifiés chez ceux supplémentés en enzymes (écart non significatif de -2%). Néanmoins, l'association de ces deux traitements induit une augmentation significative du taux de TG (+52% ; $P < 0,001$).

La baisse des taux de TG induite par l'alimentation séquentielle serait liée à l'effet négatif de la viscosité intestinale générée par les PNA hydrosolubles apportés par l'orge sur la digestion des lipides. Celle-ci est essentiellement due à une diminution de l'efficacité d'absorption des acides gras libres (AGL) (Maisonnier et *al.*, 2000). La viscosité intestinale affecte également l'absorption des AGL par deux autres effets indirects indépendants : l'un sur la concentration intestinale en sels biliaires et le second sur la microflore (Maisonnier et *al.*, 2000).

Au vu de nos résultats, l'alimentation séquentielle et l'addition d'enzyme induit des modifications métaboliques reflétées par les variations des principaux paramètres sanguins évalués et qui méritent d'être explorés.



La présente étude nous a permis d'évaluer, dans nos conditions d'élevage, l'intérêt de l'application de l'alimentation séquentielle basée sur une distribution de grains d'orge entiers en alternance avec un aliment standard complet, supplémenté ou non avec des additifs enzymatiques, sur les paramètres zootechniques et physiologiques du poulet de chair.

Dans nos conditions d'essai, avec ou sans rajout d'additifs enzymatiques dans l'aliment complet, l'alimentation séquentielle à base d'orge a ralenti la croissance pondérale des poulets et a diminué davantage l'ingéré alimentaire, aboutissant ainsi à de meilleurs indices de conversion et de consommation alimentaires.

Quelque soit le mode de distribution alimentaire (continu ou séquentiel), la supplémentation en enzymes a augmenté la consommation globale des poulets et a amélioré leur croissance mais n'a pas modifié de manière significative l'efficacité de transformation alimentaire.

L'association de ces deux traitements (aliment séquentiel à base d'orge grains entiers et additifs enzymatiques dans l'aliment complet) s'est avérée positive puisqu'elle a permis d'obtenir, chez les poulets, des performances de croissance similaires à celles des témoins alimentés à base d'aliments maïs/soja, avec une efficacité d'utilisation de l'aliment quasi identique. De plus, l'ajout du complexe enzymatique a corrigé l'altération des performances induite par l'incorporation de l'orge seule.

D'après nos données, l'alimentation séquentielle à base d'orge et la supplémentation alimentaire en enzymes n'ont pas d'effets significatifs sur le poids de la carcasse prête à cuire et la proportion du gras abdominal des poulets. Par contre, ces deux traitements, seuls ou associés, augmentent significativement la proportion du foie et celle du gésier et le nombre total de lactobacilles digestifs.

Par ailleurs, l'alimentation séquentielle a significativement réduit les teneurs plasmatiques en glucose, urée, créatinine et triglycérides et a significativement augmenté celle du cholestérol. L'ajout d'enzymes dans l'aliment a induit des élévations significatives de la protéinémie et la cholestérolémie des poulets, en revanche, la créatinémie et la glycémie se trouvent réduites.



Au vu de ces résultats, l'incorporation d'un aliment séquentiel à base de grains entiers d'orge en alternance avec un aliment complet supplémenté en enzymes permet d'obtenir des performances zootechniques comparables avec celles enregistrés avec un aliment classique unique Maïs – Soja.

Ce mode de distribution alimentaire, non encore pratiqué dans nos élevages, permettra d'intégrer l'orge en l'état dans l'aliment du poulet afin de réduire le coût de production du kilogramme de viande blanche, particulièrement si cette céréale est produite en excès, tel que indiqué par le tonnage produit au cours de l'année 2009 (MADR, 2009).

De plus, cette technique alimentaire est attrayante car elle est simple dans sa mise en œuvre pratique et de surcroît, ne demande pas d'équipements spécifiques. Néanmoins, des ajustements de la durée des séquences et de la composition de l'aliment complémentaire devraient ultérieurement être réalisés pour optimiser le coût global de l'aliment.

Enfin, le développement des préparations enzymatiques commerciales ouvre la porte à une utilisation plus importante d'aliments secondaires et de coproduits industriels actuellement peu employés dans l'aliment du poulet. Toutefois, l'amélioration de la croissance induite par l'emploi de ces enzymes exogènes reste encore peu explorée sur le plan métabolique et physiologique.



A

- Alloui-Lombarkia O., Zemmouri F., Smulikowska S., Alloui N. (2003).** Effet in vitro des enzymes sur la viscosité et les polysaccharides non amylacés de l'orge. In : Proceedings of 5èmes Journées de la recherche avicole, Tours, 26 et 27 mars 2003.
- Almirall M., Brufeu J., Esteve-Garcia E. (1993).** Effects of intestinal viscosity on digestive activities of intestinal content and ileal digestibilities of poultry fed barley diets at different ages supplemented with beta-glucanase. In : Enzymes in animal nutrition. Proceeding of the 1st Symposium. Switzerland 13-16 October, 88-90.
- Almirall M., and Esteve-Garcia E. (1994).** Rate of passage of barley diets with chromium oxide: influence of age and poultry strain and effect of beta-glucanase supplementation. Poultry Science, 73(9), 1433-1440.

B

- Beckers Y. et Piron F. (2009).** Utilisation des enzymes exogènes en alimentation porcine et avicole. In : Proceedings of 9ème Journée de Productions porcines et avicoles, 45-53.
- Benabdeljelil K. (1991).** Valorisation des organes locaux par l'addition de complexes enzymatiques commerciaux aux aliments de poulet de chair. Actes Institut Agronomique Vétérinaire, N°11, 5-11.
- Benabdeljelil K and Arbaoui M.I. (1994).** Effects of enzyme supplementation of barley-based diets on hen performance and egg quality. Animal Feed Science and Technology, 48, 325-334.
- Benabdeljelil K. (1997).** Barley as alternative feedstuff for laying hens. Bulletin Animal Health Production, 45, 55-58.
- Benabdeljelil K. (1999).** Utilisation de l'orge dans l'alimentation du poulet de chair. Bulletin de liaison et d'information PNTTA. I .A .V Hassan II, n° 55.
- Bennett CD, Classen HL, Riddell C. (2002).** Feeding broiler chickens wheat and barley diets containing whole, ground and pelleted grain. Poultry Science, 81, 995-1003.
- Blum J.C. (1980).** Etude préliminaire sur les constituants responsables de la mauvaise utilisation de l'orge chez le jeune poulet.- In : Rap. Nufr. Develop., 20, 1717-1722.
- Bouvarel I, Barrier-Guillot B, Larroude P, Boutten B, Leterrier C, Merlet F, Vilarino M, Roffidal L, Tesseraud S, Castaing J and Picard M (2004).** Sequential feeding programs for broiler chickens: twenty-four- and forty-eight-hour cycles. Poultry Science 83(1), 49-60.



Bouvarel I. (2009). Variations d'ingestion chez le poulet de chair lors d'une alimentation séquentielle. Thèse pour obtention du grade de Docteur de l'Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (Agro Paris Tech) Spécialité : Ethologie, Nutrition Animale, 127 pages.

Brufau De Barberà J. (1990). L'utilisation de l'orge dans l'alimentation, de volailles en Espagne. Options Méditerranéennes, Sér. A/N°07, 1990 - L'aviculture en Méditerranée, 91-96.

Buyse J, Decuypere E, Berghman L, Kühn ER and Vandesande F (1992). The effect of dietary proyein content on episodic broilers. British Poultry Science 33(5), 1101-1109.

C

Campbell, and J. W. D Grootwassink. (1988). Improved feeding value of Saskatchewan-grown barley for broiler chickens with dietary enzyme supplementation. In: the Agricultural Institute of Canada, 68(4), 1253-1259.

Covasa M., Forbes J.M. (1994). Performances of broiler chickens as affected by split time feeding and wheat diluted diet. In: Proceeding of the 9th European Poultry Conf., WPSA United Kingdom Branch, Roslin (UK), 1, 457-458.

Covasa M., Forbes J.M., (1995). Application of diet selection by poultry with particular reference to whole cereals. World Poultry Science Journal, 51, 149-165.

Covasa M., Forbes J.M., (1996). Effects of prior experience and training on diet selection of broiler chickens using wheat. Applied Animal Behavior Science, 46, 229-242.

E

Emmans GC (1991). Diet selection by animals: theory and experimental design. In: Proceeding of Nutrition Society 50, 59-64.

F

Farrell D.J., Martin E.A., (1998). Strategies to improve the nutritive value of rice bran in poultry diets. I. The addition of food enzymes to target the non-starch polysaccharide fractions in diets of chickens and ducks gave no response. British Poultry Science, 39(4), 549-554.

Forbes JM and Shariatmadari F (1996). Short-term effects of food protein content on subsequent diet selection by chickens and the consequences of alternate feeding of high- and low-protein foods. British Poultry Science 37, 597-607.



Fuente, J. M., P. Perez de Ayala, and M. J. Villamide (1995). Effect of dietary enzyme on metabolizable energy of diets with increasing levels of barley fed to broilers at different ages. *Animal Feed Science Technology*, 56, 45–53.

Fuller R (1977). The importance of lactobacilli in maintaining normal microbial balance in the crop. *British Poultry Science* 18, 85-94.

G

Gabriel I., S Mallet., P Sibille. (2005). La microflore digestive des volailles : facteurs de variation et conséquences pour l'animal. *Productions animales*, 18 (5), 309-322.

Géraert P.A., Uzu G., Julia T., (1997). Stratégies nutritionnelles pour réduire les agents pathogènes chez le poulet de chair. In : *Proceeding of 2èmes Journées de la Recherche Avicole*, Tours (France), 8-10/4/97, 59-66.

Gournier N, Larpent JP, Castellano MI, Larpent JL (1994). Les probiotiques en alimentation animale et humaine. Editions TEC et DOC Lavoisier. Paris. 192 pages.

Gous RM and Du Preez JJ (1975). The sequential feeding of growing chickens. *British Journal of Nutrition* 34, 113-118.

H

Haskell MJ, Vilarino M, Savina M, Atamna J and M. Picard (2001). Do broiler chicks have a cognitive representation of food quality ? Appetitive, behavioural and ingestive responses to a change in diet quality. *Applied Animal Behaviour Science* 72, 63-77.

Hesselman K., Aman P. (1986). The effect of β -glucanase on the utilisation of starch and nitrogen by broiler chickens fed on barley of low- or high-viscosity. *Animal Feed Science and Technology* 15, 83-93.

Huyghebaert et De Groote (1995). The effect of specific enzymes on the ME_N-value and nutrient utilization of target feedstuffs in broiler and layer diets. *World's Poultry Science Association Proceeding, 10th European Symposium on Poultry Nutrition*, 176–192.

J

Jamroz D., Eder K., Wiliczekiewicz A., Kirchgessner M. (1998a). *Journal of Animal Physiology a. Animal Nutrition*, 79, 113-122.

Jamroz D., Orda J., Wiliczekiewicz A., Skorupinska J. (1998b). *Journal of Animal Physiology a. Animal Nutrition*, 79, 123-134.



Jeroch H., and Dänicke, S. (1995). Barley in poultry feeding: a review. *World's Poultry Science Journal*, 51, 271–291.

Jin LZ, HO YW, Abdollahi N, Jalaludin S (1998). Growth performance, intestinal microbial populations and serum cholesterol of broilers fed diet containing lactobacillus cultures. *Poultry Science*, 77, 1256-1265.

K

Kita K, Muramatsu T and Okumura J (1993). Effect of dietary protein and energy intakes on wholebody protein turnover and its contribution to heat production in chicks. *British Journal Nutrition* 69(3), 681-688.

L

Larbier M et leclercq B. (1992). In : « Nutrition et alimentation des volailles ». Editions. INRA. Paris 335 pages.

Leeson S., Caston L.J. (1993) Production and carcass yield of broilers using free-choice cereal feeding. *Journal of Applied Poultry Research*, 2, 253-258.

Leeson S, Caston L and Summers JD (1996). Broiler response to diet energy. *Poultry Science* 75(4), p529-535.

Lozano C, De Basilio V, Oliveros I, Alvarez R, Colina I, Bastianelli D, Yahav S and Picard M (2006). Is sequential feeding a suitable technique to compensate for the negative effects of a tropical climate in finishing broilers ? *Animal Research* 55, 71-76.

M

MacLean J. A. B Webster and D. M Anders. (1994). Effect of 2-row or 6-row barley and a commercial enzyme preparation on growing-finishing broiler chickens from 3 to 6 weeks of age. *Canadian Journal of Animal Science*, 74(3), 1918-1925.

MADR (2009). Production des céréales, bilan 2009. Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural (Algérie).

Maisonnier S. (2000). Effets antinutritionnels des polysaccharides non-amylacés hydrosolubles chez le poulet en croissance : modes d'action et implications dans la qualité des blés. Thèse doctorat Tours (FRA) : Université François Rabelais, 231 p.

Mastika M., Cumming R.B. (1987). Effect of previous experience and environmental variations on the performance and pattern of feed intake of choice fed and complete fed broilers. In : D.J. Farrel (ed), *Recent advances in animal nutrition in Australia*, 260-282.



Mathlouthi N. (2002). Mécanismes d'action et d'efficacité alimentaire de la xylanase et de la beta-glucanase chez les volailles. Thèse de doctorat Rennes (FRA) : Ecole Nationale Supérieure Agronomique, 186 p.

Munt R.H.C., Dingle J.G., Sumpa M.G., (1995). Growth, carcass composition and profitability of meat chickens given pellets, mash or free choice diet. *British Poultry Science*, 36, 277-284.

N

Noble DO, Picard ML, Dunnington EA, Uzu G, Larsen AS and Siegel PB (1993). Food intake adjustments of chicks: short term reactions of genetic stocks to deficiencies in lysine, methionine or tryptophan. *British Poultry Science* 34(4), 725-735.

Noirot V., I Bouvarel., B Barrier-Guillot., J Castaing., J.L Zwick., M Picard (1998). Céréales entières pour les poulets de chair : le retour ? . *Productions Animales*, 11(5), 349-357.

P

Perttilä S, Valaja J, Partanen K, Jalava T, Kiiskinen T, Palander S (2001). Effects of preservation method and beta-glucanase supplementation on ileal amino acids digestibility and feeding value of barley for poultry. *British Poultry Science* 42, 218-229.

Picard M.L., Uzu G., Dunnington E.A., Siegel P.B., (1993). Food intake adjustments of chicks: short term reactions to deficiencies in lysine, methionine and tryptophan. *Poultry Science*, 34, 737-746.

Picard M. (1997). Broiler behaviour and nutritional conditions. In: proceeding of the 11th European Symposium on Poultry Nutrition, WPSA Danish Branch, Copenhagen (DK), 175-180.

Picard M, Plouzeau M and Faure JM (1999). A behavioural approach to feeding broilers. *Annales de Zootechnie* 48, 233-245.

Picard M, Le Fur C, Melcion J-P et Bouchot C (2000). Caractéristiques granulométriques de l'aliment : le “ point de vue ” (et de toucher) des volailles. *Productions Animales* 13, 117-130.

Piton P (1979). Valeur alimentaire de différentes variétés d'orge pour le poulet en croissance ; rôle possible des Beta-glucanes. In : Symposium I Matières premières et alimentation des volailles, INRA, Station de Recherches Avicoles, Nouzilly.



R

- Richards MP (2003).** Genetic regulation of feed intake and energy balance in poultry. Poultry Science 82, 907-916.
- Rose S.P., Burnett A., Elmajeed R.A., (1986).** Factors affecting the diet selection of choice feed broilers. British Poultry Science, 27, 215-224.
- Rose S.P., Kyriasakis I. (1991).** Diet selection of pigs and poultry. In: Proceeding of Nutrition Society, 50, 87-98.
- Rose S.P., Fielden M., Foote W.R., Gardin P. (1995).** Sequential feeding of whole wheat to growing broiler chickens. British Poultry Science, 36, 97-111
- Rosebrough RW, McMurtry JP and Steele NC (1989).** Protein and energy relations in the broiler chicken. British Journal Nutrition 61, 223-233.
- Rys R and Koreleski J (1980).** Effect of alternately fed diets with different protein level on performance of broiler chickens. Archiv für Geflügelkunde 30, 133-139.

S

- Scott TA, Leslie MA, Karimi A (2001).** Measurements of enzyme response with hulles barley-based diets full-fed to leghorn and broiler chicks or restricted-fed broiler chicks. Canadian Journal of Animal Science, 81, 403-410.
- Siegel P.B., Picard M., Nir I., Dunnington E.A., Willemsen M.H.A., Williams P.E.V. (1997).** Responses of meat-type chickens to choice feeding of diets differing in protein and energy from hatch to market weight. Poultry Science 76, 1183-1192.
- Swennen Q, Janssens GP, Decuypere E and Buyse J (2004).** Effects of substitution between fat and protein on feed intake and its regulatory mechanisms in broiler chickens: energy and protein metabolism and diet-induced thermogenesis. Poultry Science 83(12), 1997-2004.

T

- Tesseraud S (1995).** Métabolisme protéique chez le poulet en croissance. Effet des protéines alimentaires. Productions Animales, 8(3), 197-212.
- Tesseraud S (2008).** Changer la façon d'alimenter les poulets de chair pour réduire les coûts de production, et la dépendance protéique nationale et européenne - Etude du métabolisme musculaire. Rapport d'étude 35 p.
- Timmler R., Rodehutscord M. (2001).** Efficiency of different xylanase preparations in diets for pekin ducks. Archives of Animal Nutrition, 55 (4), 315-332.



U

Uzu G et Sassi T (2005). Intérêt des enzymes NSP dans l'alimentation des volailles. Volaille de Tunisie: Bulletin d'information avicole, n°35, Septembre 2005, 8-10.

V

Villamide M. J. Fuente J. M., Perez De Ayala A. Flores A. (1997). Energy Evaluation of Eight Barley Cultivars for Poultry:Effect of Dietary Enzyme Addition. Poultry Science 76, 834-840.

Y

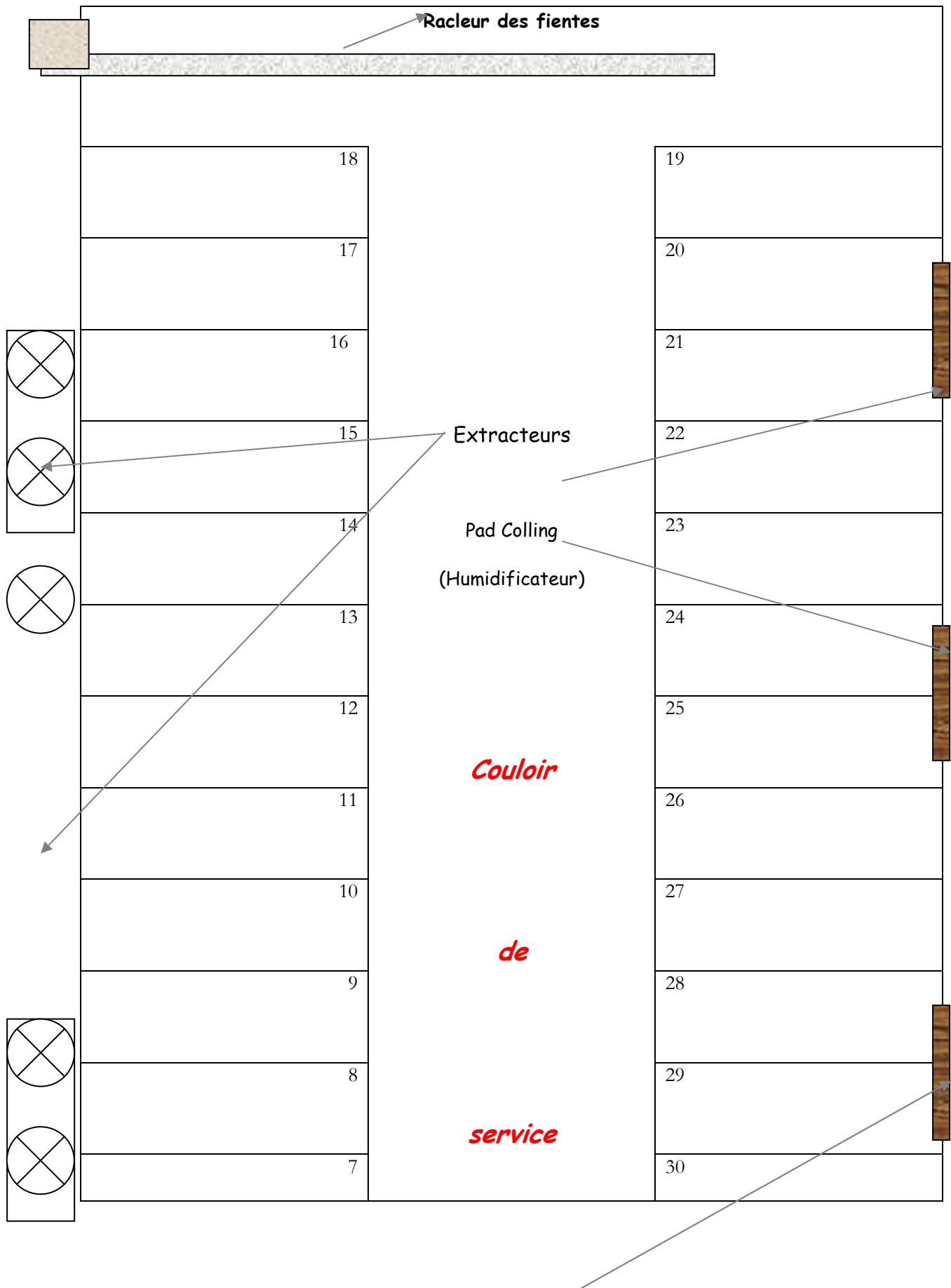
Yo T., Siegel P.B., Guerin H., Picard M. (1997). Self selection of dietary protein and energy by broilers grown under a tropical climate: effect of feed particle size on the feed choice. Poultry Science, 76, 1467-1473.

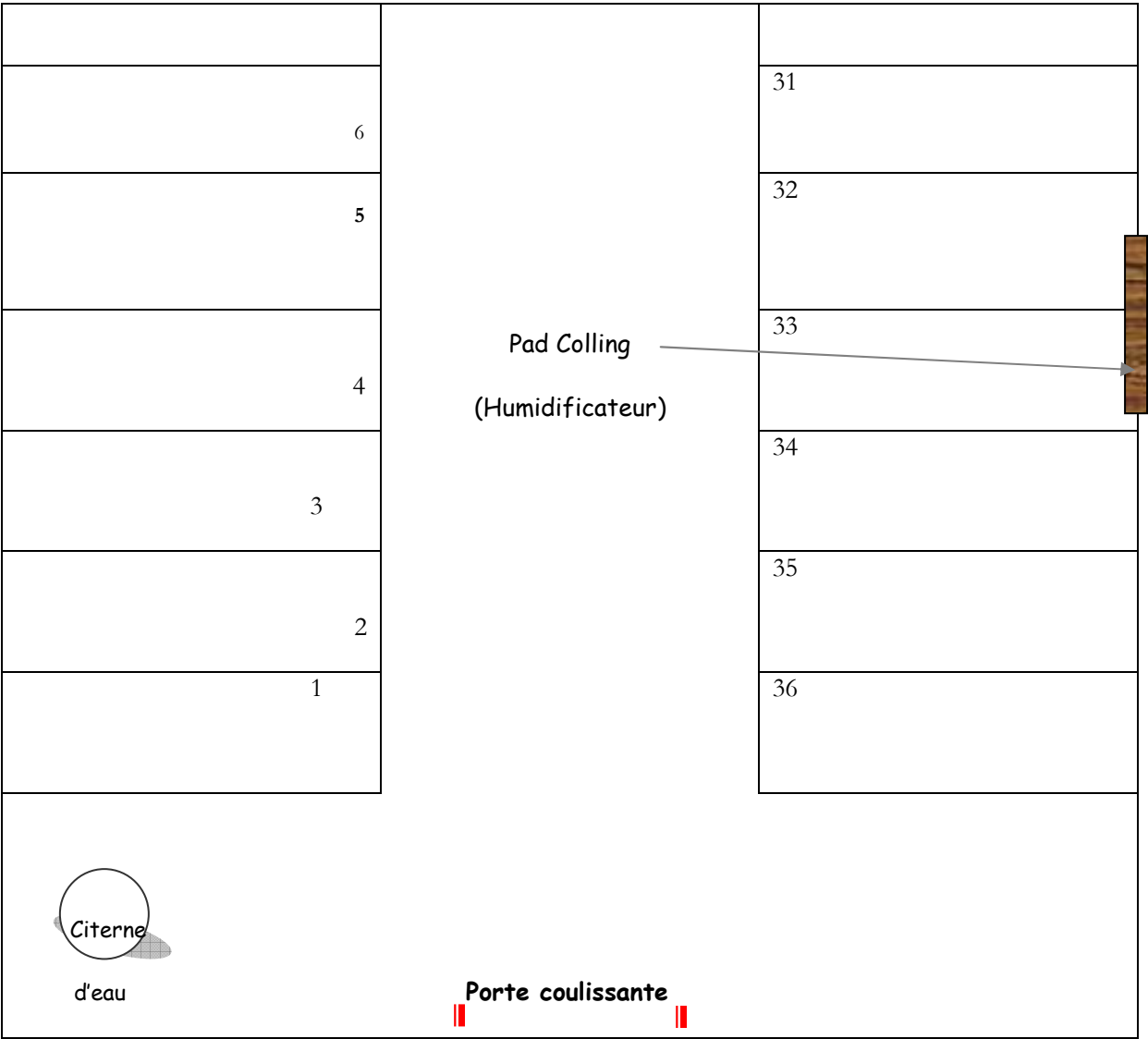
Source Internet

Source internet 1 (Figure 1) : http://fr.wikipedia.org/wiki/Orge_commune

Annexes

Schéma Expérimental "Bâtiment Testage".





FRA[®] ZYME PE DRY

Redonner de l'énergie à vos formules maïs / soja !



ENZYMES

Protéases

Enzymes pour P.S.N.A. (polysaccharides non amylacés)

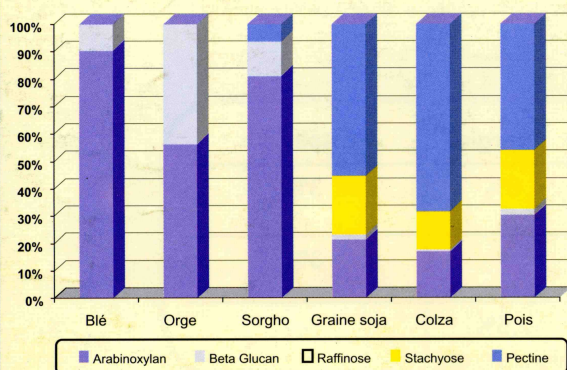
Améliore la valeur nutritive de vos rations

Augmente la valeur énergétique de vos aliments

Les enzymes

Les volailles ne produisent pas certaines enzymes nécessaires à la digestion des aliments industriels modernes. Certaines chaînes hydro-carbonnées sont donc peu ou pas digérées (xylans du blé, glucans de l'orge ou galactosans du soja). Il résulte que la partie non digérée n'apporte pas sa valeur nutritionnelle, mais aussi, qu'en restant dans les intestins, elle sert de substrat au développement de bactéries indésirables. FRA[®] ZYME PE DRY apporte les enzymes complémentaires à vos aliments formulés avec du Maïs et du Soja.

Figure 1 : Teneur des matières premières en P.S.N.A.



Ref. Nr. HP/BK 26/08/96 AC007.

Les données de la figure 1 sont extraites d'un document édité par la FEFANA sur les Enzymes/Micro-organismes, présenté à la Commission Européenne en 1995

Présentation du FRA[®] ZYME PE DRY

FRA[®] ZYME PE DRY est un mélange d'enzymes pour les formules maïs-soja composé de :

- α -galactosidase, • β -glucanase, • protéase, • xylanase, • pectinase, • amylase

**BIO
LAB**
vétérinaire

Total protein

Biuret. Colorimetric

Quantitative determination of total protein IVD

Store at 2-8°C

PRINCIPLE OF THE METHOD

Proteins give an intensive violet-blue complex with copper salts in an alkaline medium. Iodide is included as an antioxidant. The intensity of the color formed is proportional to the total protein concentration in the sample^{1,4}.

CLINICAL SIGNIFICANCE

The proteins are macromolecular organic compounds, widely distributed in the organism. They act like structural and transport elements. The proteins of the serum are divided in two fractions, albumin and globulins.

The determination of total proteins is useful in the detection of:

- High protein levels caused by hemoconcentration like in the dehydrations or increase in the concentration of specific proteins.
- Low protein level caused by hemodilution by an impaired synthesis or loss (as by hemorrhage) or excessive protein catabolism^{4,5}.

Clinical diagnosis should not be made on a single test result; it should integrate clinical and other laboratory data.

REAGENTS

R Biuret	Sodium potassium tartrate	15 mmol/L
	Sodium iodide	100 mmol/L
	Potassium iodide	5 mmol/L
	Copper (II) sulphate	19 mmol/L
T PROTEIN CAL	Bovine albumin primary standard 7 g/dL	

PRECAUTIONS

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

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.

PREPARATION

The reagents are ready to use.

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 ≥ 0.22.

ADDITIONAL EQUIPMENT

- Spectrophotometer or colorimeter measuring at 540 nm.
- Matched cuvettes 1.0 cm light path.
- General laboratory equipment.

SAMPLES

Serum or heparinized plasma¹.

Stability of the sample: 1 month at refrigerator (2-8°C).

PROCEDURE

- Assay conditions:
Wavelength: 540 (530-550) nm
Cuvette: 1 cm. light path
Temperature: 37°C / 15-25°C
- Adjust the instrument to zero with distilled water.
- Pipette into a cuvette:

	Blank	Standard	Sample
R (mL)	1.0	1.0	1.0
Standard (Note 1-2) (μL)	--	25	--
Sample (μL)	--	--	25

- Mix and incubate 5 min at 37°C or 10 min at room temperature.
- Read the absorbance (A) of the samples and Standard, against the Blank. The colour is stable for at least 30 minutes.

CALCULATIONS

$$\frac{(A)_{\text{Sample}}}{(A)_{\text{Standard}}} \times 7 \text{ (Standard conc.)} = \text{g/dL of total protein in the sample}$$

QUALITY CONTROL

Control sera are recommended to monitor the performance of assay procedures: SPINTROL H Normal and Pathologic (Ref. 1002120 and 1002210).

If control values are found outside the defined range, check the instrument, reagents and calibrator for problems.

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

REFERENCE VALUES¹

Adults: 6.6 – 8.3 g/dL

Newborn: 5.2 – 9.1 g/dL

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

PERFORMANCE CHARACTERISTICS

Measuring range: From detection limit of 0,20 g/dL to linearity limit of 15 g/dL.

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

Precision:

	Intra-assay (n=20)		Inter-assay (n=20)	
Mean (g/dL)	5.07	9.64	5.15	9.74
SD	0.04	0.08	0.06	0.14
CV (%)	0.88	0.90	1.23	1.43

Sensitivity: 1 g/dL = 0,07 A.

Accuracy: Results obtained using SPINREACT reagents (y) did not show systematic differences when compared with other commercial reagents (x).

The results obtained using 50 samples were the following:

Correlation coefficient (r): 0.9918.

Regression equation: y = 1.0164x – 0.1264.

The results of the performance characteristics depend on the analyzer used.

INTERFERENCES

Hemoglobin and lipemia^{1,4}.

A list of drugs and other interfering substances with total protein determination has been reported by Young et al.^{2,3}.

NOTES

- T PROTEIN CAL: Proceed carefully with this product because due its nature it can get contaminated easily.
- Calibration with the aqueous standard may cause a systematic error in automatic procedures. In these cases, it is recommended to use a serum Calibrator.
- Use clean disposable pipette tips for its dispensation.
- SPINREACT has instruction sheets for several automatic analyzers. Instructions for many of them are available on request.

BIBLIOGRAPHY

- Koller A. Total serum protein. Kaplan A et al. Clin Chem The C.V. Mosby Co. St Louis. Toronto. Princeton 1984; 1316-1324 and 418.
- Young DS. Effects of drugs on Clinical Lab. Tests, 4th ed AACC Press, 1995.
- Young DS. Effects of disease on Clinical Lab. Tests, 4th ed AACC 2001.
- Burtis A et al. Tietz Textbook of Clinical Chemistry, 3rd ed AACC 1999.
- Tietz N W et al. Clinical Guide to Laboratory Tests, 3rd ed AACC 1995.

PACKAGING

Ref:1001291 Cont. 2 x 250 mL

Triglycerides

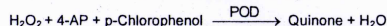
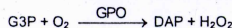
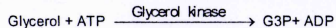
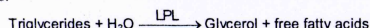
GPO-POD. Enzymatic colorimetric

Quantitative determination of triglycerides IVD

Store at 2-8°C

PRINCIPLE OF THE METHOD

Sample triglycerides incubated with lipoprotein lipase (LPL), liberate glycerol and free fatty acids. Glycerol is converted to glycerol-3-phosphate (G3P) and adenosine-5-diphosphate (ADP) by glycerol kinase and ATP. Glycerol-3-phosphate (G3P) is then converted by glycerol phosphate dehydrogenase (GPO) to dihydroxyacetone phosphate (DHAP) and hydrogen peroxide (H₂O₂). In the last reaction, hydrogen peroxide (H₂O₂) reacts with 4-aminophenazone (4-AP) and p-chlorophenol in presence of peroxidase (POD) to give a red colored dye:



The intensity of the color formed is proportional to the triglycerides concentration in the sample^{1,2,3}.

CLINICAL SIGNIFICANCE

Triglycerides are fats that provide energy for the cell. Like cholesterol, they are delivered to the body's cells by lipoproteins in the blood. A diet with a lot of saturated fats or carbohydrates will raise the triglyceride levels. The increases in serum triglycerides are relatively non-specific. For example liver dysfunction resulting from hepatitis, extra hepatic biliary obstruction or cirrhosis, diabetes mellitus is associated with the increase^{3,6,7}.

Clinical diagnosis should not be made on a single test result; it should integrate clinical and other laboratory data.

REAGENTS

R 1	GOOD pH 7.5	50 mmol/L
Buffer	p-Chlorophenol	2 mmol/L
R 2	Lipoprotein lipase (LPL)	150000 U/L
Enzymes	Glycerol kinase (GK)	500 U/L
	Glycerol-3-oxidase (GPO)	2500 U/L
	Peroxidase (POD)	440 U/L
	4 - Aminophenazone (4-AP)	0.1 mmol/L
	ATP	0.1 mmol/L
TRIGLYCERIDES CAL	Triglycerides aqueous primary standard	200 mg/dL

PREPARATION

Working reagent (WR): Dissolve (→) the contents of one vial R 2 Enzymes into one bottle of R 1 Buffer.

Ref: 1001310 Working reagent (WR): Dissolve (→) the contents of one vial R 2 Enzymes in 10 mL of R 1 Buffer.

Cap and mix gently to dissolve contents.

WR stability: 6 weeks at 2-8°C or 1 week at room temperature (15-25°C).

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.

TRIGLYCERIDES CAL

Once open is stable up to 1 month when stored tightly closed at 2-8°C, protected from light and contaminations prevented during their use.

Signs of reagent deterioration:

- Presence of particles and turbidity.
- Blank absorbance (A) at 505 nm ≥ 0.14.

ADDITIONAL EQUIPMENT

- Spectrophotometer or colorimeter measuring at 505 nm.
- Matched cuvettes 1.0 cm light path.
- General laboratory equipment.

SAMPLES

Serum or heparinized or EDTA plasma¹. Stability of the sample: 5 days at 2-8°C.

PROCEDURE

- Assay conditions:
Wavelength: 505 nm (490-550)
Cuvette: 1 cm light path
Temperature: 37°C / 15-25°C
- Adjust the instrument to zero with distilled water.

- Pipette into a cuvette:

	Blank	Standard	Sample
WR (mL)	1.0	1.0	1.0
Standard ^(Note 1,2) (μL)	--	10	--
Sample (μL)	--	--	10

- Mix and incubate for 5 min. at 37°C or 10 min. at room temperature.
- Read the absorbance (A) of the samples and Standard, against the Blank. The colour is stable for at least 30 minutes.

CALCULATIONS

(A)Sample
(A)Standard x 200 (Standard conc.) = mg/dL triglycerides in the sample

Conversion factor: mg/dL x 0.0113 = mmol/L.

QUALITY CONTROL

Control sera are recommended to monitor the performance of assay procedures: SPINTROL H Normal and Pathologic (Ref. 1002120 and 1002210). If control values are found outside the defined range, check the instrument, reagents and calibrator for problems. Each laboratory should establish its own Quality Control scheme and corrective actions if controls do not meet the acceptable tolerances.

REFERENCE VALUES

Men	40 - 160 mg/dL
Women	35 - 135 mg/dL

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

PERFORMANCE CHARACTERISTICS

Measuring range: From detection limit of 0.7 mg/dL to linearity limit of 1000 mg/dL.

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

Precision:

	Intra-assay (n=20)		Inter-assay (n=20)	
Mean (mg/dL)	118	216	119	215
SD	0.67	0.94	2.17	2.91
CV (%)	0.60	0.43	1.83	1.36

Sensitivity: 1 mg/dL = 0.0012 A.

Accuracy: Results obtained using SPINREACT reagents (y) did not show systematic differences when compared with other commercial reagents (x).

The results obtained using 50 samples were the following:

Correlation coefficient (r): 0.996.

Regression equation: y = 1.00x + 0.0743.

The results of the performance characteristics depend on the analyzer used.

INTERFERENCES

No interferences were observed with bilirubin up to 170 μmol/L and hemoglobin up to 10 g/L².

A list of drugs and other interfering substances with cholesterol determination has been reported by Young et al^{4,5}.

NOTES

- LCF (Lipid Clearing Factor) is integrated in the reagent.
- Calibration with the aqueous Standard may cause a systematic error in automatic procedures. In these cases, it is recommended to use a serum Calibrator.
- Use clean disposable pipette tips for its dispensation.
- SPINREACT has instruction sheets for several automatic analyzers. Instructions for many of them are available on request.**

BIBLIOGRAPHY

- Buccello G et al. Quantitative determination of serum triglycerides by use of enzymes. Clin Chem 1973; 19 (5): 476-482.
- Fossati P et al. Clin. Chem 1982; 28(10): 2077-2080.
- Kaplan A et al. Triglycerides. Clin Chem The C.V. Mosby Co. St Louis. Toronto. Princeton 1984; 437 and Lipids 1194-1206.
- Young DS. Effects of drugs on Clinical Lab. Tests, 4th ed AACC Press, 1995.
- Young DS. Effects of disease on Clinical Lab. Tests, 4th ed AACC 2001.
- Burtis A et al. Tietz Textbook of Clinical Chemistry, 3rd ed AACC 1999.
- Tietz N W et al. Clinical Guide to Laboratory Tests, 3rd ed AACC 1995.

PACKAGING

Ref: 1001310	5 x 10 mL
Ref: 1001311	10 x 20 mL
Ref: 1001312	10 x 50 mL
Ref: 1001313	4 x 125 mL
Ref: 1001314	4 x 250 mL

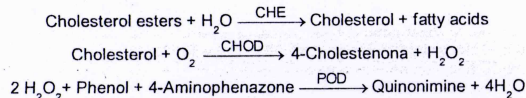
Cont.

Quantitative determination of cholesterol IVD

Store at 2-8°C

PRINCIPLE OF THE METHOD

The cholesterol present in the sample originates a coloured complex, according to the following reaction:



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

CLINICAL SIGNIFICANCE

Cholesterol is a fat-like substance that is found in all body cells. The liver makes all of the cholesterol the body needs to form cell membranes and to make certain hormones. The determination of serum cholesterol is one of the important tools in the diagnosis and classification of lipemia. High blood cholesterol is one of the major risk factors for heart disease^{3,4}. Clinical diagnosis should not be made on a single test result; it should integrate clinical and other laboratory data.

REAGENTS

R 1 Buffer	PIPES pH 6.9	90 mmol/L
	Phenol	26 mmol/L
R 2 Enzymes	Cholesterol esterase (CHE)	300 U/L
	Cholesterol oxidase (CHOD)	300 U/L
	Peroxidase (POD)	1250 U/L
	4 - Aminophenazone (4-AP)	0.4 mmol/L
CHOLESTEROL CAL	Cholesterol aqueous primary standard 200 mg/dL	

PREPARATION

Working reagent (WR): Dissolve (→) the contents of one vial R 2 Enzymes in one bottle of R 1 Buffer.
Cap and mix gently to dissolve contents.
(WR) is stable: 4 months at 2-8°C or 40 days at 15-25°C.
Avoid direct 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 505 nm ≥ 0.1.

ADDITIONAL EQUIPMENT

- Spectrophotometer or colorimeter measuring at 505 nm (500-550).
- Matched cuvettes 1.0 cm light path.
- General laboratory equipment.

SAMPLES

Serum or plasma^{1,2}: Stability of the sample for 7 days at 2-8°C or freezing at -20°C will keep samples stable for a few months.

PROCEDURE

- Assay conditions:
Wavelength: 505 nm (500-550)
Cuvette: 1 cm light path
Temperature: 37°C / 15-25°C
- Adjust the instrument to zero with distilled water.
- Pipette into a cuvette:

	Blank	Standard	Sample
WR (mL)	1.0	1.0	1.0
Standard (Note 1-2) (μL)	--	10	--
Sample (μL)	--	--	10

- Mix and incubate for 5 min. at 37°C or 10 min. at room temperature.

- Read the absorbance (A) of the samples and Standard, against the Blank. The colour is stable for at least 60 minutes.

CALCULATIONS

$$\frac{(A)_{\text{Sample}}}{(A)_{\text{Standard}}} \times 200 (\text{Standard conc.}) = \text{mg/dL cholesterol in the sample}$$

Conversion factor: mg/dL x 0.0258 = mmol/L.

QUALITY CONTROL

Control sera are recommended to monitor the performance of assay procedures: SPINTROL H Normal and Pathologic (Ref. 1002120 and 1002210).

If control values are found outside the defined range, check the instrument, reagents and calibrator for problems.

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

REFERENCE VALUES

Risk evaluation^{5,6}:

Less than 200 mg/dL	Normal
200-239 mg/dL	Borderline
240 mg/dL and above	High

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

PERFORMANCE CHARACTERISTICS

Measuring range: From detection limit of 0,6 mg/dL to linearity limit of 600 mg/dL.

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

Precision:

	Intra-assay (n=20)		Inter-assay (n=20)	
Mean (mg/dL)	90.1	305	90.4	301
SD	0.64	3.30	1.12	2.30
CV (%)	0.71	1.08	1.24	0.76

Sensitivity: 1 mg/dL = 0.002 A.

Accuracy: Results obtained using SPINREACT reagents (y) did not show systematic differences when compared with other commercial reagents (x). The results obtained using 50 samples were the following:

Correlation coefficient (r): 0.995.

Regression equation: y = 1.004x - 0.931

The results of the performance characteristics depend on the analyzer used.

INTERFERENCES

Hemoglobin up to 5 g/L and bilirubin up to 10 mg/dL, do not interfere^{1,2}.

A list of drugs and other interfering substances with cholesterol determination has been reported by Young et. al^{3,4}.

NOTES

- CHOLESTEROL CAL: Proceed carefully with this product because due its nature it can get contaminated easily.
- LCF (Lipid Clearing Factor) is integrated in the reagent.
- Calibration with the aqueous Standard may cause a systematic error in automatic procedures. In these cases, it is recommended to use a serum Calibrator.
- Use clean disposable pipette tips for its dispensation.
- SPINREACT has instruction sheets for several automatic analyzers. Instructions for many of them are available on request.

BIBLIOGRAPHY

- Naito H.K. Cholesterol. Kaplan A et al. Clin Chem The C.V. Mosby Co. St Louis. Toronto. Princeton 1984; 1194-11206 and 437.
- Meiattini F. et al. The 4-hydroxybenzoate/4-aminophenazone Chromogenic System. Clin Chem 1978; 24 (12): 2161-2165.
- Young D.S. Effects of drugs on Clinical Lab. Tests, 4th ed AACC Press, 1995.
- Young D.S. Effects of disease on Clinical Lab. Tests, 4th ed AACC 2001.
- Burtis A et al. Tietz Textbook of Clinical Chemistry, 3rd ed AACC 1999.
- Tietz N W et al. Clinical Guide to Laboratory Tests, 3rd ed AACC 1995.

PACKAGING

Ref: 1001090	10 x 50 mL
Ref: 1001091	10 x 20 mL
Ref: 1001092	4 x 125 mL
Ref: 1001093	4 x 250 mL

Glucose

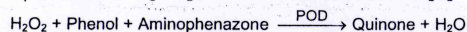
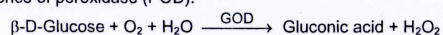
Trinder. GOD-POD

Quantitative determination of glucose IVD

Store at 2-8°C

PRINCIPLE OF THE METHOD

Glucose oxidase (GOD) catalyses the oxidation of glucose to gluconic acid. The formed hydrogen peroxide (H₂O₂), is detected by a chromogenic oxygen acceptor, phenol-aminophenazone in the presence of peroxidase (POD):



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

CLINICAL SIGNIFICANCE

Glucose is a major source of energy for most cells of the body; insulin facilitates glucose entry into the cells. Diabetes is a disease manifested by hyperglycemia; patients with diabetes demonstrate an inability to produce insulin^{1,5,6}. Clinical diagnosis should not be made on a single test result; it should integrate clinical and other laboratory data.

REAGENTS

R 1	TRIS pH 7.4	92 mmol/L
Buffer	Phenol	0.3 mmol/L
R 2	Glucose oxidase (GOD)	15000 U/L
Enzymes	Peroxidase (POD)	1000 U/L
	4 - Aminophenazone (4-AP)	2.6 mmol/L
GLUCOSE CAL	Glucose aqueous primary standard	100 mg/dL

PREPARATION

Working reagent (WR): Dissolve (→) the contents of one vial R 2 Enzymes in one bottle of R 1 Buffer.

Cap and mix gently to dissolve contents.

The reagent is stable 1 month after reconstitution in the refrigerator (2-8°C) or 7 days at room temperature (15-25°C).

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.

GLUCOSE CAL Once open is stable up to 1 month when stored tightly closed at 2-8°C, protected from light and contaminations prevented during their use.

Signs of reagent deterioration:

- Presence of particles and turbidity.
- Blank absorbance (A) at 505 nm ≥ 0.10.

ADDITIONAL EQUIPMENT

- Spectrophotometer or colorimeter measuring at 505 nm.
- Matched cuvettes 1.0 cm light path.
- General laboratory equipment.

SAMPLES

Serum or plasma, free of hemolysis¹ and CSF.

Serum should be removed from the clot as quickly as possible.

Stability: Glucose is stable at 2-8°C for 3 days.

PROCEDURE

- Assay conditions:
Wavelength: 505 nm (490-550)
Cuvette: 1 cm light path
Temperature: 37°C / 15-25°C
- Adjust the instrument to zero with distilled water.
- Pipette into a cuvette:

	Blank	Standard	Sample
WR (mL)	1.0	1.0	1.0
Standard ^(Note 1,2) (μL)	--	10	--
Sample (μL)	--	--	10

- Mix and incubate for 10 min at 37°C or 15-20 min at room temperature (15-25°C).
- Read the absorbance (A) of the samples and standard, against the Blank. The colour is stable for at least 30 minutes.

CALCULATIONS

$$\frac{(A) \text{ Sample}}{(A) \text{ Standard}} \times 100 (\text{Standard conc.}) = \text{mg/dL glucose in the sample}$$

Conversion factor: mg/dL x 0.0555 = mmol/L.

QUALITY CONTROL

Control sera are recommended to monitor the performance of assay procedures: SPINTROL H Normal and Pathologic (Ref. 1002120 and 1002210).

If control values are found outside the defined range, check the instrument, reagents and calibrator for problems.

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

REFERENCE VALUES¹

Serum or plasma:

$$60 - 110 \text{ mg/dL} \quad \approx \quad 3.33 - 6.10 \text{ mmol/L}$$

CSF:

$$60 - 80\% \text{ of the blood value}$$

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

PERFORMANCE CHARACTERISTICS

Measuring range: From detection limit of 0.04 mg/dL to linearity limit of 500 mg/dL.

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

Precision:

	Intra-assay (n=20)		Inter-assay (n=20)	
Mean (mg/dL)	96.8	241	98.4	248
SD	0.81	1.43	1.55	3.73
CV (%)	0.83	0.59	1.58	1.50

Sensitivity: 1 mg/dL = 0.0036 A.

Accuracy: Results obtained using SPINREACT reagents (y) did not show systematic differences when compared with other commercial reagents (x).

The results obtained using 50 samples were the following:

Correlation coefficient (r): 0.99.

Regression equation: y = 1.0x + 0.12.

The results of the performance characteristics depend on the analyzer used.

INTERFERENCES

Haemoglobin up to 4 g/L, bilirubin up to 20 mg/L, creatinine up to 100 mg/L and galactose up to 1g/L do not interfere.

A list of drugs and other interfering substances with glucose determination has been reported by Young et al.^{3,4}.

NOTES

- Calibration with the aqueous standard may cause a systematic error in automatic procedures. In these cases, it is recommended to use a serum Calibrator.
- Use clean disposable pipette tips for its dispensation.
- SPINREACT has instruction sheets for several automatic analyzers. Instructions for many of them are available on request.**

BIBLIOGRAPHY

- Kaplan L.A. Glucose. Kaplan A et al. Clin Chem The C.V. Mosby Co. St Louis. Toronto. Princeton 1984; 1032-1036.
- Trinder P. Ann Clin Biochem 1969; 6: 24-33.
- Young DS. Effects of drugs on Clinical Lab. Tests, 4th ed AACC Press, 1995.
- Young DS. Effects of disease on Clinical Lab. Tests, 4th ed AACC 2001.
- Burtis A et al. Tietz Textbook of Clinical Chemistry, 3rd ed AACC 1999.
- Tietz N W et al. Clinical Guide to Laboratory Tests, 3rd ed AACC 1995.

PACKAGING

Ref:1001190		4 x 125 mL
Ref:1001191	Cont.	4 x 250 mL
Ref:1001192		10 x 50 mL

Creatinine

Jaffé. Colorimetric - kinetic

Quantitative determination of creatinine IVD

Store at 2-8°C

PRINCIPLE OF THE METHOD

The assay is based on the reaction of creatinine with sodium picrate as described by Jaffé. Creatinine reacts with alkaline picrate forming a red complex. The time interval chosen for measurements avoids interferences from other serum constituents. The intensity of the color formed is proportional to the creatinine concentration in the sample¹.

CLINICAL SIGNIFICANCE

Creatinine is the result of the degradation of the creatine, component of muscles, it can be transformed into ATP, that is a source of high energy for the cells. The creatinine production depends on the modification of the muscular mass, and it varies little and the levels usually are very stable. Is excreted by the kidneys. With progressive renal insufficiency there is retention in blood of urea, creatinine and uric acid. Elevate creatinine level may be indicative of renal insufficiency^{1,4,5}. Clinical diagnosis should not be made on a single test result; it should integrate clinical and other laboratory data.

REAGENTS

R 1	Picric acid	17.5 mmol/L
Picric Reagent		
R 2	Sodium hydroxide	0.29 mol/L
Alkaline Reagent		
CREATININE CAL	Creatinine aqueous primary standard	2 mg/dL

PRECAUTIONS

R1 (Picric acid): Corrosive (C): R35: Causes severe burns. R2 (NaOH): Irritant (Xi): R36/38: Irritating to eyes and skin. S26: In case of contact with eyes, rinse immediately with plenty of water and seek medical advice. S37/39: Wear suitable gloves and eye/face protection. S45: In case of accident or if you feel unwell, seek medical advice immediately.

PREPARATION

Working reagent (WR): Mix equal volumes of R 1 Picric Reagent and R 2 Alkaline reagent. The working reagent is stable for 10 days at 15-25°C.

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 492 nm ≥ 1.80 .

ADDITIONAL EQUIPMENT

- Spectrophotometer or colorimeter measuring at 492 nm (490-510).
- Matched cuvettes 1.0 cm light path.
- General laboratory equipment.

SAMPLES

- Serum or heparinized plasma¹. Creatinine stability: 24 hours at 2-8°C.
- Urine¹: Dilute sample 1/50 with distilled water. Mix. Multiply results by 50 (dilution factor); Creatinine stability: 7 days at 2-8°C.

PROCEDURE

- Assay conditions:
Wavelength: 492 nm (490-510)
Cuvette: 1 cm. light path
Temperature: 37°C / 15-25°C
- Adjust the instrument to zero with distilled water.
- Pipette into a cuvette:

	Blank	Standard	Sample
WR (mL)	1.0	1.0	1.0
Standard ^(Note 1,2) (μL)	--	100	--
Sample (μL)	--	--	100

- Mix and start stopwatch.
- Read the absorbance (A₁) after 30 seconds and after 90 seconds (A₂) of the sample addition.
- Calculate: $\Delta A = A_2 - A_1$.

CALCULATIONS

$$\frac{\Delta A \text{ Sample} - \Delta A \text{ Blank}}{\Delta A \text{ Standard} - \Delta A \text{ Blank}} \times 2 (\text{Standard conc.}) = \text{mg/dL of creatinine in the sample}$$

Conversion factor: mg/dL x 88.4 = μmol/L.

QUALITY CONTROL

Control sera are recommended to monitor the performance of assay procedures: SPINTROL H Normal and Pathologic (Ref. 1002120 and 1002210). If control values are found outside the defined range, check the instrument, reagents and calibrator for problems. Each laboratory should establish its own Quality Control scheme and corrective actions if controls do not meet the acceptable tolerances.

REFERENCE VALUES¹

Serum or plasma:
Male 0.7 - 1.4 mg/dL $\approx$ 61.8 - 123.7 μmol/L
Female 0.6 - 1.1 mg/dL $\approx$ 53.0 - 97.2 μmol/L
Urine: 15-25 mg/Kg/24 h
Male 10 - 20 mg/Kg/24 h $\approx$ 88 - 177 μmol/Kg/24 h
Female 8 - 18 mg/Kg/24 h $\approx$ 71 - 177 μmol/Kg/24 h

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

PERFORMANCE CHARACTERISTICS

Measuring range: From detection limit of 0.09 mg/dL to linearity limit of 15 mg/dL.

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

Precision:

	Intra-assay (n=20)		Inter-assay (n=20)	
Mean (mg/dL)	1.06	3.58	1.03	3.31
SD	0.22	0.06	0.04	0.06
CV (%)	2.07	1.54	3.97	1.75

Sensitivity: 1 mg/dL = Δ 0.03 A/min . mg/dL

Accuracy: Results obtained using SPINREACT reagents (y) did not show systematic differences when compared with other commercial reagents (x).

The results obtained using 50 samples were the following:

Correlation coefficient (r): 0.986

Regression equation: $y = 0.975x + 0.047$

The results of the performance characteristics depend on the analyzer used.

INTERFERENCES

Hemoglobin (1 g/L), Bilirubin (55 mg/dL), interfere¹.

A list of drugs and other interfering substances with creatinine determination has been reported by Young et. al.^{2,3}.

NOTES

- CREATININE CAL: Proceed carefully with this product because due its nature it can get contaminated easily.
- Calibration with the aqueous Standard may cause a systematic error in automatic procedures. In these cases, it is recommended to use a serum Calibrator.
- Use clean disposable pipette tips for its dispensation.
- SPINREACT has instruction sheets for several automatic analyzers. Instructions for many of them are available on request.

BIBLIOGRAPHY

- Murray R.L. Creatinine. Kaplan A et al. Clin Chem The C.V. Mosby Co. St Louis. Toronto. Princeton 1984; 1261-1266 and 418.
- Young D.S. Effects of drugs on Clinical Lab. Tests, 4th ed AACC Press, 1995.
- Young D.S. Effects of disease on Clinical Lab. Tests, 4th ed AACC 2001.
- Burtis A et al. Tietz Textbook of Clinical Chemistry, 3rd ed AACC 1999.
- Tietz N W et al. Clinical Guide to Laboratory Tests, 3rd ed AACC 1995.

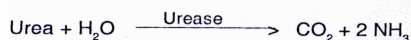
PACKAGING

Ref: 1001111	Cont.	2 x 150 mL
Ref: 1001113		4 x 250 mL

Enzymatic-colorimetric test. "Berthelot"
Store at 2-8°C. For *in vitro* diagnostic use only.

PRINCIPLE

Urea is hydrolyzed into ammonia and CO₂.
Ammonia reacts with salicylate and hypochlorite to form a green indophenol.
The colour intensity is proportional to the concentration of urea.

**REAGENTS**

Reagent 1	Phosphate pH 6.7	50 mmol/L
	EDTA	2 mmol/L
	Sodium Salicylate	60 mmol/L
	Sodium Nitroprussiate	3.2 mmol/L
Reagent 2	Sodium Hypochlorite	140 mmol/L
	Sodium Hydroxide	150 mmol/L
Reagent 3	Urease	30000 U/L
Standard	Urea	50 mg/dL

PREPARATION AND STABILITY

Dissolve one tablet R.3 into one bottle R.1.
This solution R.1+R.3 is stable 4 weeks at 2-8°C or 1 week at room temperature.
The R.2 is ready for use.

SAMPLE

Serum, heparinized plasma.
Urine, dilute 1:50 with distilled water.

PROCEDURE

	Blank	Standard	Sample
R.1+R.3	1.0 mL	1.0 mL	1.0 mL
Standard	--	10 µL	--
Sample	--	--	10 µL
Mix. Incubate at 37°C for 5 min or for 10 min at 15-25°C.			
Reagent 2	1.0 mL	1.0 mL	1.0 mL
Mix, incubate 5 min at 37°C or 10 min at 15-25°C. Measure the extinction at 580 nm against blank. The colour is stable for 30 minutes.			

Calculation

$$\text{Urea (mg/dL)} = \frac{E_{\text{sample}}}{E_{\text{standard}}} \times \text{standard conc (mg/dL)}$$

$$\text{mg/dL} \times 0.1665 = \text{mmol/L}$$

Linearity

This method is linear up to 200 mg/dL (33.33 mmol/L).
If the urea concentration is greater than 200 mg/dL, dilute the sample 1:2 with saline solution and repeat the determination and multiply by 2.

REFERENCE VALUES

Serum/Plasma	: 15 - 45 mg/dL (2.49 - 7.49 mmol/L)
Urine	: 20 - 35 gr/24 h.

NOTES:

Do not use hemolyzed serums.
If is possible, use disposable materials.

Bibliography

Berthelot, MPE. Rept Chim. Appl. 2884 (1859)
Balleter, WG. Bushman, C.J. Tidwell, P.W. Anal. Cehm. 33, 592 (1961).
Fawcett, J.K. and Scott, J.E., J. Clin. Path., 13, 156 (1960)
Weatherburn, M.W., Anal. Chem., 39, 971 (1967)

QUALITY CONTROL

SPINTROL Normal and pathological.

PRESENTATION

Ref: 1001331	4 x 150 mL
Ref: 1001329	10 x 50 mL