

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE VETERINAIRE – ALGER
المدرسة الوطنية العليا للبيطرة - الجزائر

PROJET DE FIN D'ETUDES
EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLOME DE DOCTEUR VETERINAIRE

**Effet de l'utilisation des enzymes dans l'aliment
sur les performances zootechniques de la poule
pondeuse**

Présenté par :

KENIOUA
IKKACHE
GUEBLI

ABDELKADER
HAMZA
AISSA

Soutenu le : 07 juillet 2011

Le jury :

Mme TEMIM S.
Mlle AINBAZIZ H.
Mr GOUCEM R
Mme SAIDJ D.

Professeur
Professeur
Maître assistat
Maître assistante B

ENSV, Alger
ENSV, Alger
ENSV, Alger
ENSV, Alger

Présidente
Promotrice
Examineur
Examinatrice

Année universitaire : 2010/2011

Remerciements

Ce travail a pu être mené à terme grâce aux conseils de Mlle AINBAZIZ H que nous remercions vivement pour sa patience et son encouragement.

Nous remercions également :

Mme TEMIM S. Professeur à l'Ecole Nationale Supérieure Vétérinaire qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence de notre jury.

Mme SAIDJ D. et Mr GOUCEM R. Chargés de cours à l'Ecole Nationale Supérieure Vétérinaire qui ont bien voulu examiné ce travail.

Nos amis ALAA, KAMEL, KARIM

L'équipe de l'ITELV pour toute leur aide durant toute la partie expérimentale, on citera : Mlle SOUAMES Assia, Mr BOUAZOUNI D., Mr Larbi et Mr ALLAL.

A tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicace

*Au nom de dieu le tout puissant et le très
miséricordieux par la grâce duquel j'ai pu réaliser ce
travail que je dédie à :*

Mes chers parents

*Mons frères : Mohammed, Kamel, Hakim, Nouredine
et sa petite Hibaallah*

Mes sœurs ainsi qu'à leurs enfants.

*Mes oncles et tantes, leurs épouses et époux ainsi qu'à
leurs enfants.*

*Tous mes amis: H-H. Karim, Rabah, Saber, Mohamed,
Khiraddin, Ali, rachid, abdarrahmen, fathi,
Mohammed, hamza, Karim, adal.*

Tous les gens du village,

Dédicace

*Au nom de dieu le tout puissant et le très
miséricordieux par la grâce duquel j'ai pu réaliser ce
travail que je dédie à :*

*Mes chers parents, Mons frères, mes sœurs, à mes
grands-mères, et Mons grands-pères.*

*Mes oncles et tantes, leurs épouses et époux ainsi
qu'à leurs enfants.*

*Tous mes amis: Taher, Alla, Ferhat, Youcef, Othmen,
Hacen, Faïçal et Tahe.*

SOMMAIRE

Introduction.....	1
 PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE	
I- ALIMENTATION.....	2
I-1- Besoins de l'animal	2
I-2- Les facteurs de variation des besoins	2
a- La température	2
b- Le poids de la poule	3
c- Le taux de ponte	3
d- L'âge	3
I-3-Formule alimentaire	3
I-4 Les besoins nutritifs de la poule pondeuse	3
a)Besoin énergétique.....	3
b- Besoins en protéines et acides aminés	4
c-Besoins en minéraux	6
d-Besoins en oligo-éléments et en vitamines	6
e- Besoins en matières grasses	8
f- Besoins en eau	8
I-5 Programme alimentaire de la poule pondeuse	9
II- Utilisation des enzymes dans les aliments des poules pondeuses.....	10
II-1- Définition et mode d'action.....	10
II-2 Données générales sur les enzymes utilisés dans l'aliment de la volaille	10
a - amylase	11
b - β -galactosidase	11
c - la phytase	11
d- les enzymes NSP.....	12
d-1 Mécanismes d'action	12
d-2 Avantage	13
II-3 List des enzymes utilisés dans l'alimentation des poules pondeuses :.....	15
II-4 Effets des enzymes exogènes sur les performances des poules pondeuses....	15

PARTIE EXPERIMENTALE

I-Lieu, durée et moment de déroulement de l'essai	18
II-Bâtiment et équipement	18
III- Animaux	19
IV- Traitement expérimentaux	20
V- Aliments	20
VI- La supplémentation en enzymes	20
VII- Programme de température :	20
VIII- Programme lumineux :	20
IX- Paramètres mesurés	21
1 - Taux de ponte	21
2- Ingéré alimentaire (IA)	21
3-Taux de mortalité	21
4-Poids vif des poules	21
5-Poids moyen de l'œuf.....	21
6-Poids des constituants de l'œuf :	22
7- Analyse statistique :	22
I.Performances mesurées en période pré expérimentale comparées au standard de la souche :.....	23
II.Effet de l'incorporation de l'enzyme sur les performances zootechniques de la poule pondeuse :	24
II.1. Mortalité	24
II.2. Evolution de la courbe de ponte et taux de ponte	25
II.3. Evolution du nombre d'œufs pondus par poule selon l'âge et nombre total d'œufs	26
II.4. Poids de l'œuf	27
II.5. Consommation d'aliment	27
II.6. Efficacité alimentaire	28
II.7. Poids de la poule pondeuse	28
II.8.Qualité de l'œuf mesuré à la 38ème semaine d'âge	29
CONCLUSION.....	30

La filière avicole algérienne se distingue par les sous filières de production chair et ponte. La sous filière ponte (œuf de consommation) s'est développée de manière considérable, par la mise en place d'élevages industriels répartis entre les secteurs privé (92%) et le secteur étatique (8%), regroupant un cheptel de 69 117 000 en 2009 (Douanes algériennes, 2010). La production d'œufs induite par ce cheptel est de 15 896 910.10³ permettant ainsi une disponibilité atteignant près 400 œufs par habitant et par an en 2009. Ainsi, l'œuf de consommation de par sa qualité biologique, sa disponibilité à longueur d'année sur le marché national et son coût, est un aliment qui permet d'équilibrer la ration journalière de l'algérien en protéines animales.

Par ailleurs la rentabilité des élevages de poules pondeuses reste en deçà des normes préconisées (Kaci, 2007). Ceci est lié, la plupart du temps, aux conditions d'élevage défavorables (respect des normes d'élevage, qualité de la poulette démarrée, qualité de l'aliment et les conditions sanitaires...).

La qualité de l'aliment est la raison majeure de la perturbation de la ponte chez la poule pondeuse. La composition de la formule alimentaire destinée à la poule pondeuse et pratiquée par les fabricants d'aliments y compris l'ONAB, est différente d'un producteur à l'autre (Ain Baziz, 2006). La qualité des matières premières variable et celle des taux d'incorporation expliquent la variabilité de la qualité de l'aliment de la poule pondeuse (taux d'incorporation du tourteau de soja faible, les taux élevés du maïs en raison de son moindre coût et celui du son qui peut atteindre 12 à 13%).

Afin de pallier à la faible productivité des élevages ponte, l'amélioration de la qualité de l'aliment a fait l'objet de plusieurs travaux, notamment ceux concernant l'utilisation des enzymes chez la poule pondeuse nourrie avec des régimes à base de blé et d'orge (Lim et al., 2003; Mathlouthi et al., 2003 ; Maisonnier-Grenier et al. , 2004 ; Mori, 2007 ; Madiot, 2005).

L'objectif de notre travail est de préciser, dans nos conditions locales, l'impact d'une distribution d'un aliment standard complet, supplémenté ou non avec des additifs enzymatiques comportant deux doses différentes sur les performances de ponte chez la poule pondeuse.

Notre manuscrit présente en premier une étude bibliographique, détaillant d'abord l'alimentation chez la poule en période de ponte, ensuite des données sur l'effet des enzymes incorporés dans l'aliment sur les performances de la poule pondeuse.

La seconde partie est consacrée à l'étude expérimentale, à travers laquelle la méthodologie et le protocole utilisés sont globalement décrits, puis les résultats obtenus sont présentés et discutés. Dans la conclusion générale, nous faisons le point sur des idées acquises et les perspectives envisageables à l'issue de ce travail.

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I

ALIMENTATION

I- ALIMENTATION

L'alimentation est un facteur essentiel dans la production des œufs de consommation. L'aliment présenté à la poule pondeuse doit apporter tous les nutriments en quantités suffisantes permettant, d'une part, le renouvellement de la matière vivante (besoins d'entretien) et d'autre part la production d'œufs et un accroissement éventuel du poids (besoins de production).

I-1- Besoins de l'animal

La notion de besoin n'est pas absolue, elle fait obligatoirement référence à un critère ou à un objectif : gain de poids recherché, indice de consommation souhaité, taux de ponte espéré. La figure 1 illustre la notion de besoin.

BESOINS NUTRITIONNELS

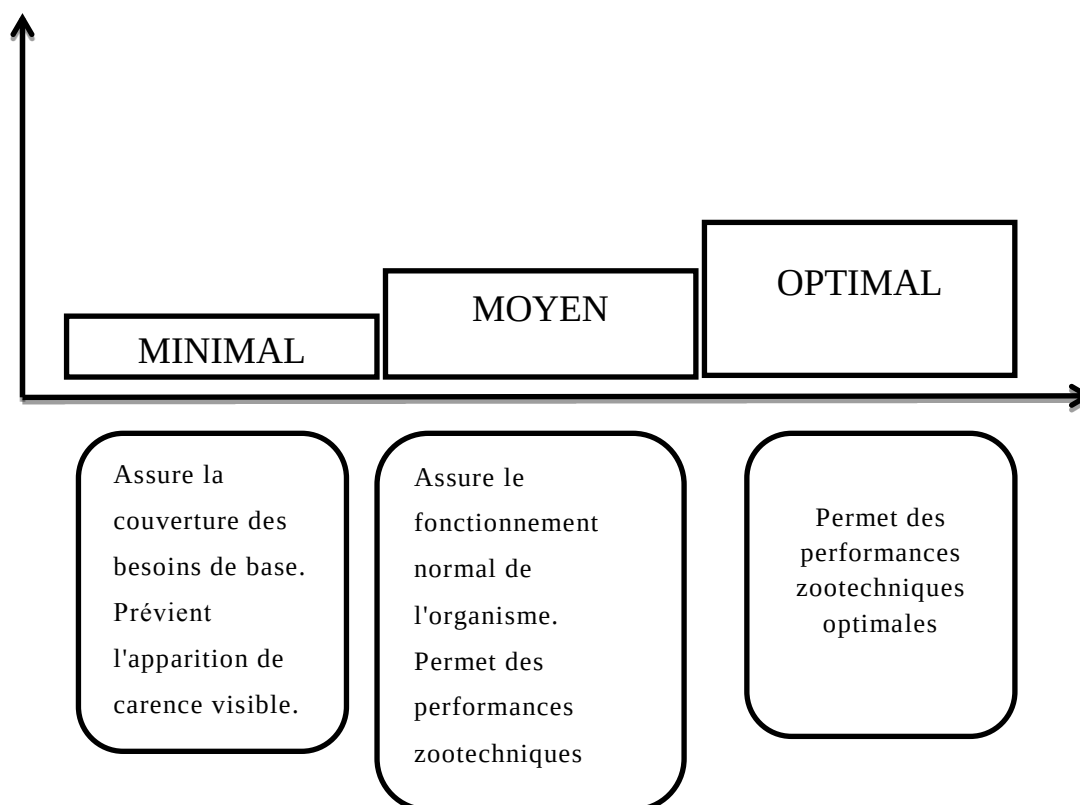


Figure 1: La notion de besoin nutritionnel (Fedida, 1996).

I-2- Les facteurs de variation des besoins

a- La température : le froid accroît les besoins en énergie sans affecter cependant les besoins en acides aminés, d'où l'intérêt de maintenir une température de 15°C environ dans le bâtiment d'élevage.

b- Le poids de la poule : plus la poule est lourde et plus ses besoins en énergie, en lysine et en méthionine sont élevés.

c- Le taux de ponte : la poule consomme d'autant plus d'aliment qu'elle pond ; elle ajuste ses besoins à sa production.

d- L'âge : les capacités d'absorption et de digestion, de même que les besoins intrinsèques évoluent tout le long de la vie de l'animal. Ainsi, la capacité d'absorption du calcium diminue avec l'âge chez la pondeuse, en même temps que la taille de la coquille de l'œuf augmente : il s'ensuit une hausse significative des besoins en calcium (Tableau 1).

Tableau1 : Besoin moyen quotidien en calcium chez la poule pondeuse (en grammes)
(Larbier et Leclercq, 1992)

Début de ponte (20 ^e - 40 ^e semaine d'âge.)	Milieu de ponte (40 ^e - 55 ^e semaine d'âge.)	Fin de ponte (à partir de la 55 ^e semaine d'âge.)
3,8 à 4,2	4,0 à 4,2	4,2 à 4,6

De nombreux autres facteurs entraînent une augmentation directe (stress) ou indirecte des besoins (défaut d'absorption des nutriments lors de diarrhée par exemple).

I-3-Formule alimentaire

La formule des aliments consiste à combiner plusieurs matières premières et compléments afin de satisfaire les besoins des animaux (Buldgen, 1996).

I-4 Les besoins nutritifs de la poule pondeuse

Un besoin nutritionnel est défini comme étant la quantité minimale d'élément nutritif permettant une performance maximale, à partir d'une courbe de réponse variant en fonction de l'apport alimentaire (Larbier et Leclercq, 1992).

a) *Besoin énergétique*

Selon Leclercq (1992), la concentration énergétique préconisée en pratique est comprise entre 2700 et 2900 Kcal d'énergie métabolisable/ Kg d'aliment selon le coût des matières premières.

A niveau énergétique constant, les poules doivent augmenter leur consommation d'aliment de 40 % entre 17 et 27 semaines d'âge. Une importante baisse du niveau énergétique durant cette période pénalisera d'autant plus la capacité des animaux à atteindre ces niveaux de consommation. Joly (2000) rapporte qu'au-delà de 2700 Kcal/ Kg d'aliment, les performances ne semblent pas être modifiées, en deçà, l'indice de consommation est amélioré mais le poids de l'œuf diminue (Tableau 2). D'une manière générale, la quantité d'œufs exportée par jour n'est pas affectée par le niveau énergétique de l'aliment (Larbier et Leclercq, 1992).

Tableau2: Apports recommandés en protéines, acides aminés et minéraux pour la pondeuse d'œufs de consommation selon la teneur énergétique de l'aliment (INRA, 1991)

Concentration énergétique (Kcal EM/kg)	2800	2600
Protéines brutes (%)	14,00	15,00
Lysine (%)	0,63	0,68
Méthionine (%)	0,28	0,30
Calcium (%)	3,40	3,60
Phosphore total (%)	0,53	0,55
Phosphore disponible (%)	0,28	0,30
Sodium (%)	0,13	0,14
Chlore (%)	0,13	0,14
Acide linoléique (%)	0,80	0,80
Xanthophylles totaux (ppm)	23	25
Consommation journalière (g) à 18°C	127	120

L'énergie consommée est influencée par le pourcentage d'huile végétale utilisée, la densité de l'aliment et par la présentation de l'aliment. Aussi, une mauvaise granulométrie de l'aliment peut être compensée par un pourcentage plus élevé d'huile afin de colmater les fines particules (ISA 2005).

b- Besoins en protéines et acides aminés

Le besoin protéique est en grande partie constitué par le besoin de production de l'œuf. L'entretien n'exige que 2 à 4 g de protéines par jour alors que la formation de l'œuf nécessite 10 à 12 g par jour (INRA, 1984).

Joly (1985) note que pour certaines poules, la croissance ne se termine que vers 32 semaines, alors qu'elles sont pratiquement à 100% de ponte, exportant 60 g d'œufs par jour. Un aliment « entrée en ponte » doit permettre la satisfaction des besoins de croissance. Aussi, les recommandations pour la période 20 à 35 semaines sont : 19 g de protéines, 410 mg de méthionine, 730 mg de méthionine + cystéine et 820 mg de lysine.

D'autre part, Uzu (1989) rapporte que le besoin en protéines totales ne doit pas être dissocié du besoin en acides aminés essentiels. Les performances sont optimisées pour un ingéré de 17 g de protéines et 380 mg de méthionine par poule, par jour et ne semblent pas varier avec le milieu. L'absence d'aliment entrée en ponte réduit les performances sur la période 23-51 semaines (réduction de la masse d'œufs de 3,6%, du poids de l'œuf de 0,2 % et du taux de ponte de 3,2 %). Les performances restent inférieures pendant toute la vie du troupeau (Joly, 2000).

L'expression des besoins et la formulation des aliments doivent se réaliser de préférence en acides aminés digestibles. Formuler en acides aminés digestibles permet de mieux satisfaire les besoins des animaux, de réduire les marges de sécurité et de hiérarchiser les matières premières en fonction de leur vraie valeur biologique (Larbier et Leclercq, 1992) (tableau 3).

La formulation en acides aminés bruts conduit à accorder la même valeur nutritionnelle à toutes les matières premières quelle que soit leur digestibilité. Cela conduit tout naturellement à une augmentation des marges de sécurité pour satisfaire au mieux les besoins des animaux (Larbier et Leclercq, 1992).

Tableau 3 : Besoins quotidiens en acides aminés d'une pondeuse d'œufs de consommation
(en g /jour) (Larbier et Leclercq, 1992)

Besoin énergétique	Variable selon les souches et la température
Protéines brutes	16,0
Lysine	0,750
Méthionine	0,340
Acides aminés soufrés	0,610
Tryptophane	0,165
Valine	0,650
Threonine	0,520

c-Besoins en minéraux

Selon Leclercq (1992), parmi tous les ions minéraux, macro et oligoéléments, le calcium doit être apporté en grande quantité à la poule lorsqu'elle assure la formation de sa coquille. La teneur de calcium de l'aliment doit être au moins égale à 3,5 %

Le calcium disponible pour la formation de la coquille dépend pour l'essentiel de la qualité et de la quantité du calcium ingéré en fin de journée et/ou pendant la nuit : 30 % du calcium doit être présenté sous forme pulvérulente, 7% sous forme particulaire de taille comprise entre 2 et 4 mm. La teneur en calcium doit être augmentée à partir de 50 semaines d'âge (Joly, 2000). Par ailleurs, Larbier et Leclercq (1992) préconisent un apport entre 0,3% et 0,35% dans l'aliment. L'apport de chlore doit être limité à 0,15 % de l'aliment correspondant à 0,3% de chlorure de sodium. Le besoin en sodium est estimé à 0,15% (Tableau 4).

Tableau 4 : Besoins de la poule pondeuse en minéraux (Larbier et Leclercq, 1992)

Besoin énergétique	Variable selon les souches et la température
Minéraux	
Calcium	4,20
Phosphore total	0,60
Phosphore disponible	0,32
Sodium	0,15
Chlore	0,15

d-Besoins en oligo-éléments et en vitamines

Les oligo-éléments (fer, cuivre, zinc, manganèse, iode, sélénium) et les vitamines sont des éléments présents à l'état de traces dans les tissus des animaux. Ils remplissent des fonctions essentielles à la vie et à la croissance. Les oligo-éléments et les vitamines, qui doivent être apportés sous forme de pré mélange dans l'aliment de la poule pondeuse (Tableaux 5 et 6).

Tableau 5: Apports optima et limites inférieures (carence) et supérieures (toxicité) des principaux oligo-éléments pour les poules pondeuses (mg/Kg = ppm) (Leclercq, 1992).

Oligo-éléments (ppm)	Optimum	Minimum	Maximum
Fer	60	45	500
Cuivre	10	4	250
Zinc	50	40	800
Manganèse	40	30	1000
Iode	0,3	0.1	1000
Sélénium	0,1	0,05	4

Tableau 6: Additions recommandées de vitamines dans les aliments destinés aux pondeuses (UI/Kg ou ppm = g tonne) (Leclercq, 1992).

Vitamines	Quantité
Vit A	UI/Kg 8000
Vit D ₃	UI/Kg 1600
Vit E	ppm 10
Vit K ₃	ppm 2
VitB1	ppm 1,5
Vit B ₂	ppm 4
Acide pantothénique	ppm 5
Vit B ₆	ppm 2
Vit Bu	ppm 0,01
Vit PP	ppm 20
Acide folique	ppm 0.4
Biotine	ppm -
Choline	ppm 500

e- Besoins en matières grasses

L'adjonction d'huile dans l'aliment a une influence sur le poids de l'œuf de l'ordre de 0,5 à 1g. Une adjonction de 1,5 à 2% de matières grasses est souhaitable pour améliorer la présentation de l'aliment (Joly, 2000). Selon Pesti et al. (2002), l'incorporation des matières grasses permet :

- Une amélioration des performances : effet extra calorique des matières grasses
- Une meilleure utilisation de certaines matières premières telles que le son
- Une réduction de la vitesse de transit dans le tube digestif
- Une meilleure utilisation des acides aminés et vitamines
- Une amélioration du taux de ponte, de la taille de l'œuf, de la qualité de la coquille
- Et enfin assure une meilleure coloration du jaune d'œuf.

Le tableau 7 montre les effets des matières grasses sur les performances des poules pondeuses.

Tableau 7: Effets de la MG sur les performances de poules pondeuses de 22 à 65 semaines d'âge
(Grobas et al, 1999)

MG ajoutée (%)	0	4	Probabilité
Taux de ponte (%)	88,0	89,8	0,001
Poids de l'œuf (g)	64,1	65,3	0,004
Masse d'œuf (g/j)	56,4	58,6	0,001
Cons. énergétique (kcal/j)	322	331	0,04
Cons. alimentaire (g/j)	117	121	0,04
Efficacité alimentaire (kg d'aliment/kg d'œuf)	2,08	2,06	NS

f- Besoins en eau

L'eau est apportée à volonté. En période de ponte, la consommation hydrique peut varier de 220 à 300 ml par jour par poule correspondant à 15°C pour la première et 25°C pour la seconde (Anonyme, 1994).

La connaissance des besoins alimentaires de la poule pondeuse facilite la maîtrise du rationnement et évite le gaspillage de l'aliment mais surtout, évite les carences qui sont les plus préjudiciables.

I-5 Programme alimentaire de la poule pondeuse

L'aliment destiné à la période de ponte doit être substitué progressivement à l'aliment poulette dès l'apparition des premiers œufs pondus dans le troupeau, soit deux semaines avant que le troupeau ne ponte à 50%. La transition de l'aliment poulette à l'aliment ponte doit se faire sur quatre semaines et ce, en mélangeant les deux types d'aliment :

- 19^e semaine d'âge : 75% poulette + 25% ponte.
- 20^e semaine d'âge : 50% poulette + 50% ponte.
- 21^e semaine d'âge : 25% poulette + + 75% ponte.
- 22^e semaine d'âge : 100% ponte.

Durant la période de ponte, la consommation varie entre 35,5 et 44 kg d'aliment.

Quotidiennement, les besoins en aliment varient de 110 à 130 grammes. Cette variation dans la consommation est fonction de la nature de la ration, du taux de ponte et de la température ambiante (Lariane, 1998).

CHAPITRE II

LES ENZYMES

II- Utilisation des enzymes dans les aliments des poules pondeuses

Les enzymes sont produits industriellement à partir de champignons ou de bactéries (Grajek *et al*, 2005). Incorporés dans les aliments en farines ou en granulés, elles n'ont aucune action sur les matières de l'aliment avant son ingestion. Elles agissent donc dans le tube digestif où leur action s'ajoute à celle des enzymes sécrétés par l'animal lui-même (Ferket, 2002).

L'utilisation d'enzymes présentant un large spectre d'activité permet de mieux valoriser les matières premières utilisées dans l'alimentation des volailles, telles que l'orge et le blé, mais aussi le maïs et les oléo protéagineux tel que le soja (Uzu, 2005).

La raison essentielle de l'utilisation des enzymes en alimentation des volailles est d'accroître la valeur alimentaire des aliments en augmentant l'efficacité de la digestion (vitesse et/ou ampleur) dans le tube digestif des volailles. En effet, l'efficacité de la digestion affecte grandement les frais d'alimentation des volailles et réduit les rejets dans l'environnement (Geraert, 1997).

L'usage des enzymes exogènes dans les aliments des volailles est recommandé dans les situations suivantes :

- détruire les facteurs antinutritionnels présents dans beaucoup d'aliments et qui ont des effets délétères sur le processus de la digestion et la santé des volailles.
- pallier chez l'animal l'absence d'enzymes capables d'hydrolyser des liaisons chimiques particulières (les liaisons du type β) de manière à fournir davantage de nutriments à l'animal.

II-1- Définition et mode d'action

Les enzymes sont des substances organiques solubles qui catalysent une réaction biochimique. Ils accélèrent les réactions chimiques d'un facteur de l'ordre du million et sont très spécifiques à un substrat donné (Bedford et Morgan, 1996).

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, l'amidon et les phosphates d'origine végétale (Beckers et Piron, 2009).

II-2 Données générales sur les enzymes utilisés dans l'aliment de la volaille

De manière générale, les enzymes ajoutés aux aliments des volailles doivent être assimilés à une extension du système enzymatique de leur tube digestif. Choisis 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).

a - amylase

L'alpha-amylase sécrétée essentiellement par le pancréas et les glandes salivaires est une enzyme dont le rôle essentiel est d'hydrolyser l'amidon alimentaire en dextrose, maltose et glucose (Dourson et al, 2008). L'alpha-amylase brise les liens à (1-4) glycosuriques à l'intérieur des chaînes de l'amylose et de amylopectine pour donner des molécules de maltose (disaccharides de a-glucose).

b - β -galactosidase

C'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.

c - la phytase

Les phytases, aussi appelées Myo-inositol-hexa-phosphate hydrolases, sont des enzymes spécifiques de type phosphatase à haut poids moléculaire capables d'hydrolyser les phytates (Angel, 2002 ; Parra, 2001). Ces enzymes existent chez les plantes, les micro-organismes (bactéries et champignons) et certains tissus animaux. Cependant, les champignons du genre *Aspergillus* sont ceux qui produisent le plus de phytases (Rudy, 1996).

Il existe deux types de phytases, la 3-phytase et la 6-phytase qui diffèrent selon le site d'initiation de la déphosphorylation de l'acide phytique (Parra, 2001). La 3-phytase débute la déphosphorylation de l'acide phytique sur la position 3 produisant du 1, 2, 4, 5,6 pentakisphosphate et du P inorganique. En revanche, la 6-phytase commence l'hydrolyse sur la position 6 produisant du 1,2,3,4,5-pentakisphosphate et du P inorganique (Angel, 2002).

Par conséquent, l'intérêt d'une supplémentation des poules pondeuses en phytase reste controversé (Lim et al 2003). Toutefois, Van Der Klis et al.(1997) ont démontré l'efficacité de la phytase chez les poules pondeuses soumises à un régime alimentaire à base de maïs-soja, contenant 2.4 g/kg de P phytique et 500 U/kg d'activité phytasique . De même, l'incorporation de phytase (500 U/kg) à une ration à base de maïs-soja couplée à une réduction des apports en phosphate tricalcique entraine une augmentation significative de la production d'œufs, une diminution

importante de l'excrétion du P (de 41 % environ) et une réduction notable du pourcentage d'œufs fêlés ou mous (Lim, 2003).

d- les enzymes NSP

Les NSP (« non starch polysaccharides » pour « Polysaccharides Non Amylacés ou PNA ») sont utilisés depuis plusieurs années pour améliorer la valeur nutritionnelle des aliments pour volailles. Ils permettent de diminuer les effets négatifs des PNA présents dans la plupart des matières premières, au niveau de leur membrane cellulaire. 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.

d-1 Mécanismes d'action

Les principaux constituants des grains sont les polysaccharides correspondant à des polymères de monosaccharides (glucose, arabinose, xylose,...) liés par des liaisons glycosidiques. Le plus important de ces polysaccharides est l'amidon dont les unités de glucose sont liées en alpha (1-4) avec quelques alpha (1-6) et est très facilement digéré par les volailles, à la différence des polysaccharides non amylacés dont les monomères sont liés par des liaisons bêta. Ces NSP sont localisés dans les membranes cellulaires de tous les types de matières premières (Tableau 8). Ils comprennent la cellulose, l'hémicellulose, la pectine et les oligosaccharides. Les volailles ne possèdent pas d'enzymes capables d'hydrolyser la liaison β . De ce fait, les fibres alimentaires ne sont pas digérées par les volailles.

Tableau 8: Comparaison des principaux nutriments dans les matières premières
(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	Protease
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

Les enzymes ajoutés ont la capacité d'hydrolyser les pentosanes et les β -glucanes en de petits polymères altérant ainsi la capacité de ces polysaccharides de former une solution très visqueuse

qui inhibe la diffusion et le transport des nutriments (Annison et Choct, 1991; Bedford et Morgan, 1996 ; Cheeson 1993 ; Wyatt et Queenborough, 1996).

L'action synergique de l'endo-1,4-xylanase du 1,4-xylosidase et de plusieurs autres enzymes hydrolysent les arabinoxylanes trouvées dans les membranes cellulaires de l'endosperme des grains (Wyatt et Quennborough, 1996)

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 (Uzu et Sassi, 2005).

Entre autres qualités, les xylanases, les glucanases et les protéases doivent être très stables et actives au pH et à la température du tractus gastro-intestinal. Elles doivent aussi agir assez rapidement dans la zone gastrique et efficacement dans le duodénum et dans le jéjunum où 85% de l'absorption des nutriments a lieu dans sa partie terminale (Wyatt et Queenborough. 1996).

Au niveau iléal, la diminution de la viscosité permet une meilleure diffusion des molécules dans la lumière intestinale et donc une meilleure absorption (Figure 2).

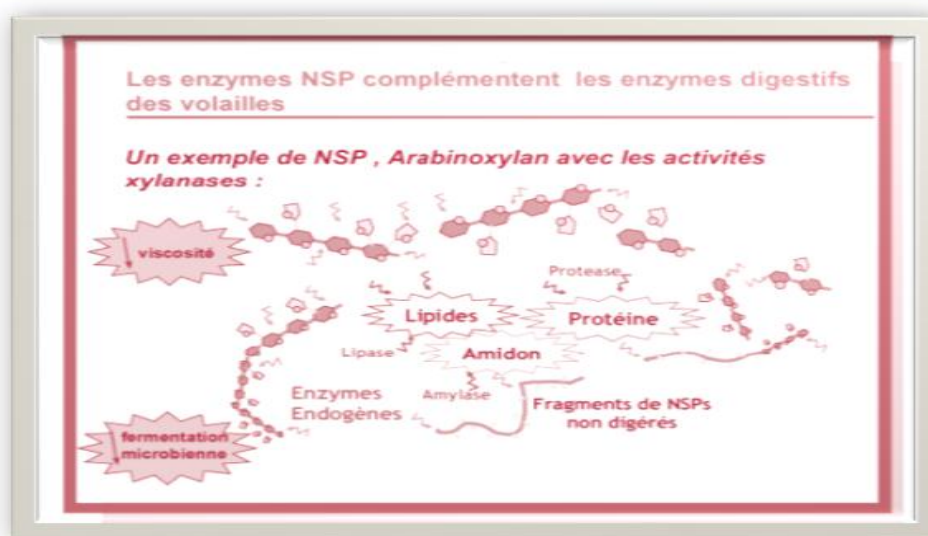


Figure 2 : Mode d'action des enzymes (Wyatt et Queenborough. 1996).

d-2 Avantage

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. La figure 3 indique que l'hydrolyse des bêta glucanes, particulièrement présents dans les parois végétales des cellules d'orge nécessite l'intervention progressive de 3 activités beta glucanase. (Uzu et al, 2005).

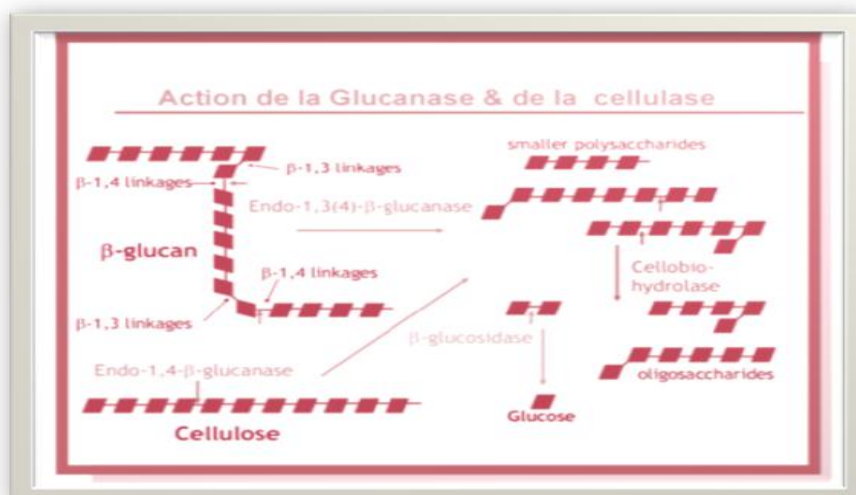


Figure 3 : Action de la glucanase et de la cellulase (Uzu et al, 2005).

Les effets positifs des enzymes NSP ont surtout été obtenus avec les espèces poule pondeuse, dinde et poulet de chair (Mathlouthi, 2002). Dans une étude récente, ce dernier auteur 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 bêta-glucanase est plus efficace que chacune de ces activités individuellement (Figure 4). Cet effet est encore accru, lorsque les deux activités sont en présence d'autres activités polysaccharidiques et il s'applique à de nombreuses matières premières incluant le maïs et le tourteau de soja.

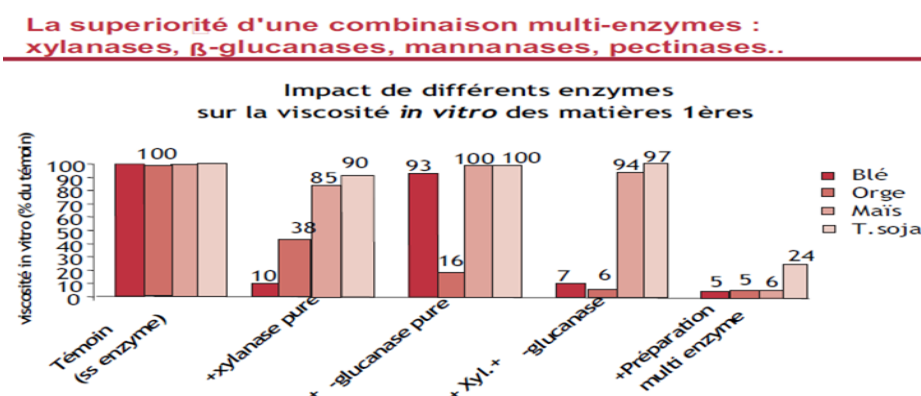


Figure 4 : Effet combiné des complexes multi-enzymes (Mathlouthi, 2002)

II-3 List des enzymes utilisés dans l'alimentation des poules pondeuses :

Il existe plusieurs préparations enzymatiques différentes par leur composition, leur activité et leur origine qui sont utilisés dans l'alimentation des poules pondeuses (annexe).

II-4 Effets des enzymes exogènes sur les performances des poules pondeuses

L'incorporation d'enzymes NSP dans les aliments 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 poule pondeuse, poulet de chair et dinde (Mathlouthi, 2002). L'ajout d'enzymes dans les aliments à base de maïs ou d'orge ou de blé-tourteau de soja de la poule pondeuse se traduit par une amélioration des performances, en particulier, la masse d'œuf produite (en g/poule/jour) est augmentée de 1,6 à 4,8% et l'indice de consommation diminue de 1,8 à 4 % selon le type d'aliment (Uzu et Sassi 2005) (Tableau 9).

Tableau 9: Effet de l'addition d'enzymes dans l'aliment de la poule pondeuse (Uzu et Sassi 2005)

Type d'aliment	Maïs- T. soja 22-45 sem.		Orge- T. Soja 22-42 sem		Blé- T.soja 22-42sem	
	Témoin + Excel		Témoin+ Excel		Témoin+ Excel	
Consommation en g/animal/jour	104,2	103,9 (-0,3%)	109,4	110,0 (-0,5%)	113,5	111,9 (+0,5%)
Masse d'œuf en g/animal/jour	48,0	48,8 (+ 1,6%)	49,7	52,1 (+4,8%)	53,0	54,3 (+2,5%)
Indice de consommation	2,18a	2,14b (-1,8%)	2,20a	2,11b (-4,1%)	2,16a	2,06b (-4,6%)

Cette amélioration des performances traduit une meilleure valorisation de l'aliment au niveau énergétique. L'augmentation de la valeur en énergie métabolisable des aliments a été évaluée à :

- 50 Kcal /kg pour les aliments à base de maïs
- 110 Kcal /kg pour les aliments à base d'orge
- 65 Kcal kg pour les aliments à base de blé

A ces effets, s'ajoute une diminution significative de la proportion d'œufs sales. L'amélioration de la digestibilité s'accompagne également d'une meilleure absorption des pigments

et d'une meilleure coloration du jaune de l'œuf, de + 0,2 à 1 point sur l'échelle Roche. Le tableau 10 regroupe quelques résultats obtenus après supplémentation des enzymes dans l'aliment de la poule pondeuse.

Tableau 10: Synthèse des résultats

Enzymes	Quantité utilisée	Effet observé	Auteurs
Phytase	500 U/kg	- ↗ significative de la production d'œufs - ✓ œufs fêlés ou mous	Lim et al.(2003)
Rovabio TM Excel	1100 U/kg	-amélioration de l'énergie métabolisable - ✓ l'indice de consommation	Mathlouthi et al. (2003)
Rovabio TM Excel	1100 U/kg	-amélioration de l'énergie métabolisable - ✓ l'indice de consommation	Madiot et al 2005
KEMZYME	1kg/tonne	- ↗ nombre et poids des œufs - ✓ la perte de poids - ✓ l'indice de consommation	Meeusen (2001)
NSP	50g/tonne	- ↗ taux de ponte - ✓ l'indice de consommation - ↗ poids moyen de l'œuf	Mori (2007)
Rovabio TM xylan	0.2l/TONNE	- Amélioration de l'indice de consommation - ✓ la viscosité intestinal	Geraert (1997)
Megazyme	560UI /kg	- ✓ la viscosité de la matière première	Mathlouthi et al. (2001)
Rovabio TM Excel	0.2L/tonne	- ✓ l'indice de consommation - ↗ poids de la masse d'œuf	Frapin et Geraert (1999)

L'apport de RovabioTM Excel aux poules pondeuses nourries par un régime maïs-soja améliore la valeur nutritive des aliments en diminuant l'ingestion sans altérer les performances de ponte et la qualité des œufs en augmentant la propreté et diminuant la fragilité de la coquille des œufs des poules nourries avec un régime blé-orge-soja (Maisonniér-Grenier et al., 2004).

L'incorporation d'enzymes NSP sur des aliments pondeuses contenant une forte proportion de leur substrat cible (Blé et Orge) augmentent la valeur nutritionnelle de l'aliment et donc son efficacité. Les autres matières premières de l'aliment sont également mieux valorisées chez la pondeuse grâce à la présence d'enzymes NSP. Même si les mécanismes d'action pour ces matières premières annexes ne sont pas élucidés, les enzymes NSP permettent donc aujourd'hui d'accroître la rentabilité des élevages de pondeuses en tirant mieux parti des matières premières (Tableau ??).

Le phytase conduit à une forte augmentation de la dégradation iléale des phytates et de leur assimilation intestinale sans altérer l'absorption du calcium, et une réduction notable du pourcentage d'œufs fêlés ou mous. De nombreuses études ont également montré que l'ajout de phytase à l'alimentation à base de maïs-soja des pondeuses permet de réduire les apports en P sans compromettre ni les performances de croissance et de ponte ni la qualité des œufs.

PARTIE EXPERIMENTALE

MATERIEL & METHODE

Notre essai vise à étudier, dans nos conditions d'élevage, l'effet de l'utilisation de l'enzyme Bergazym incorporée, à deux doses différentes dans l'aliment de la poule pondeuse sur les performances de ponte et la qualité de l'œuf.

I-Lieu, durée et moment de déroulement de l'essai

L'essai est réalisé au niveau de la Station expérimentale des Monogastriques de l'ITELV de Baba Ali, Alger, sur une période de ponte de quatre (04) semaines d'un cheptel de poule pondeuse, soit du 28 Mai au 28 Juin 2011.

II-Bâtiment et équipement

Le bâtiment d'élevage utilisé est de type obscur (Figures 5 et 6) à ambiance contrôlée ayant une superficie de 296m². Il est équipé de deux batteries de type californien, disposées sur deux rangées. Chaque batterie comprend un ensemble de cages disposées sur deux étages. La cage a une superficie de 0,144m² (45x32x45cm), pouvant accueillir 3 poules pondeuses (Figure 7).



Figure 5: Le bâtiment d'élevage (vue extérieure).

Le bâtiment est équipé également d'une citerne d'eau et une armoire de contrôle des facteurs d'ambiance (programme lumineux et température et ventilation) et des humidificateurs. La ventilation est dynamique est assurée par des clapets pour l'entrée d'air et par six extracteurs (02grands et 04petits) pour l'extraction de l'air vicié.

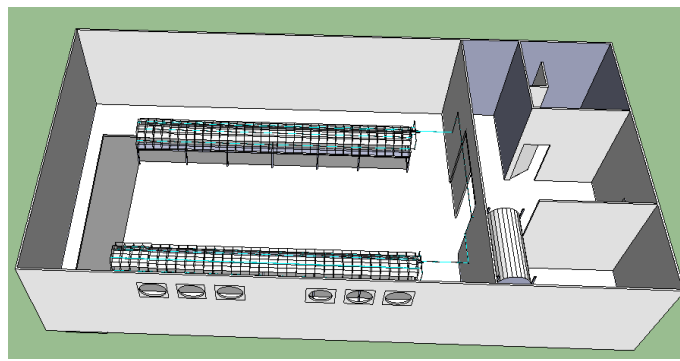


Figure 6: Schéma du bâtiment d'élevage (intérieur)



Figure 7: Batterie d'élevage de poules pondeuses utilisée.

III- Animaux

Cent quatre-vingt poules pondeuses (180) de souche ISA Brown âgées de 34 semaines sont réparties en 3 groupes ($n=60$). Chaque groupe a été réparti en cinq répétitions comprenant chacune 12 poules pondeuses ($5 \times 12 = 60$). Les lots composés de 60 poules pondeuses, situés sur un même étage de la batterie, ont été choisis selon un taux de ponte équivalent, afin d'effectuer une répartition équitable entre les groupes (Figure 8).

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
T5	B5	A5	B4	A4	T4	A3	T3	B3	T2	B2	A2	B1	A1	T1

Figure 8: Répartition des lots au niveau de la batterie d'élevage.

IV- Traitement expérimentaux

Dans cet essai, nous comparons les 03 traitements suivants :

1. **Groupe T** : lot témoin non supplémenté en enzymes
2. **Groupe A** : lot recevant une dose de 250g d'enzyme/tonne d'aliment (dose recommandée par le fournisseur)
3. **Groupe B** : lot recevant une dose de 300g d'enzyme/tonne d'aliment

V- Aliments

L'aliment de base de la poule pondeuse est celui classiquement fabriqué par l'ONAB. Les lots expérimentaux sont supplémentés en enzyme à raison de 250g/tonne d'aliment pour le lot A et 300g/tonne pour le lot B. Durant toute la période de l'essai, l'aliment est distribué à 1500g/jour par lot, soit 125g par poule pondeuse et l'eau est fournie à volonté.

VI- La supplémentation en enzymes

La supplémentation alimentaire en enzymes a été appliquée durant toute la période expérimentale pour les lots A et B (de la 35^{ème} à la 38^{ème} semaine d'âge de la poule pondeuse). Le complexe enzymatique utilisé est une préparation à base de 04 enzymes (Protéase : 32,4 HU/g ; α -amylase : 1600U/g ; cellulase : 400 CU/g ; Endo-1-4- β - xylanase : 6000UEP/g) commercialisée sous l'appellation BERGAZYM®, fabriquée par le groupe BERG & SCHMIDT (Allemagne) distribuée par la société SARL.BPI/ENH.DOUDAH (Algérie).

VII- Programme de température :

Durant tout l'essai, la température et l'hygrométrie d'élevage ont été contrôlées. La température relevée était en moyenne de 28°C et l'hygrométrie de 57%.

VIII- Programme lumineux :

L'éclairage assuré durant l'essai était de 16 heures par jour, avec une puissance de 5watt/m². Il correspond à celui préconisé par le guide de la souche ISABRAWON.

IX- Paramètres mesurés

1 - Taux de ponte

C'est le principal critère de rentabilité d'un élevage de pondeuses, il est exprimé par le rapport suivant :

$$\text{Taux de ponte} = \frac{\text{Nombre d'œufs pondus}}{\text{Nombre de total des poules pondeuses}} \times 100.$$

Le nombre d'œufs est compté chaque jour, et le taux de ponte est calculé chaque semaine.

2- Ingéré alimentaire (IA)

La quantité moyenne d'aliment consommé est calculée, pour chaque semaine de l'essai, par différence entre la quantité d'aliment distribuée en début et le refus mesuré à la fin de chaque semaine.

3-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 par la formule suivante

$$\text{Taux de mortalité} = \frac{\text{Nombre de mortalités}}{\text{Nombre initial de poules}} \times 100.$$

4-Poids vif des poules

Le poids vif des poules a été effectué en début et fin d'essai, sur 50% de l'effectif de chaque groupe.

5-Poids moyen de l'œuf

Il reflète l'évolution hebdomadaire du poids des œufs pondus au cours de la production.

$$\text{Poids moyen de l'œuf} = \frac{\text{Poids total des œufs}}{\text{Nombre d'œufs pondus}}$$

6-Poids des constituants de l'œuf :

Les constituants de l'œuf ont été séparés manuellement. La coquille est lavée, séchée à 50°C dans une étuve pendant une nuit et exposée à l'air ambiant pendant 2 heures avant d'être pesée. Le poids de chaque constituant est mesuré.

7- Analyse statistique :

Les résultats obtenus sont présentés par la moyenne et l'écartype. Ils ont été soumis à une analyse de variance (soit à 1 ou 2 facteur selon le résultat). Le seuil de signification choisi est d'au moins de 5%. Les analyses ont été effectuées à l'aide du programme Stat View (Abacus Concepts, 1996, Inc., Berkeley. USA).

A travers nos résultats, nous présenterons en premier l'état du cheptel avant l'expérimentation, pour ensuite examiner, dans nos conditions d'élevage, l'effet de l'utilisation de l'enzyme Bergazym incorporée, à deux doses différentes dans l'aliment de la poule pondeuse, sur les performances de ponte, la qualité de l'œuf.

RESULTATS & DISCUSSION

I. Performances mesurées en période pré expérimentale comparées au standard de la souche :

Avant de présenter les résultats propres à l'effet de l'ajout enzymatique sur les performances zootechniques de la poule pondeuse, nous avons jugé important d'indiquer quelques données sur le cheptel en période pré expérimentale.

La figure 9 montre l'évolution de la courbe de ponte entre la 20^{ème} semaine d'âge et la 34^{ème} semaine d'âge (début de l'expérimentation) de l'élevage comparée à celle du guide standard de la souche ISA Brown.

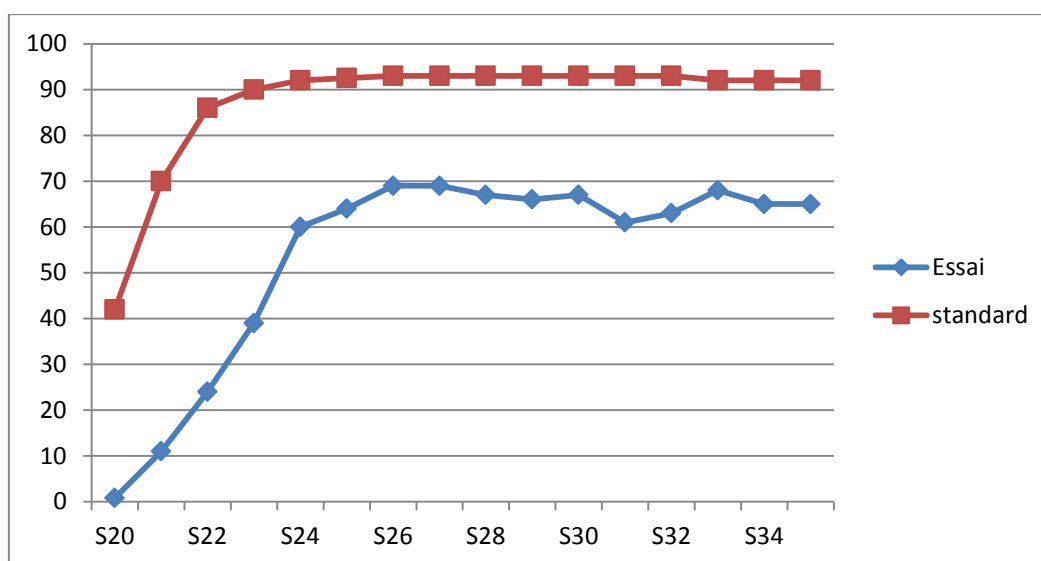


Figure 9 : Courbe de ponte comparative du cheptel étudié avec celle du standard de la souche (%).

Dès le début de ponte, nous constatons un important écart du taux de ponte entre les deux courbes. En effet, à la 20^{ème} semaine d'âge les poules pondeuses présentent un taux de ponte de 1%, nettement inférieur à celui cité par le guide standard situé à 40%. Le pic de ponte est atteint à la 26^{ème} semaine d'âge avec un taux de 70%, tardivement par rapport à celui du standard estimé à 90% à la 23^{ème} semaine d'âge.

Par ailleurs, le poids des poules pondeuses de l'élevage mesuré au début de la 35^{ème} semaine d'âge était de 1642,4g inférieur à celui préconisé par le guide de la souche et estimé à 1950g, soit une diminution de 15,8%.

La quantité d'aliment distribuée est de 120g par poule et par jour, équivalente à celle du guide standard mais toutefois avec une qualité de l'aliment recommandée différente. L'efficacité alimentaire calculée est au profit du standard avec 1,93 contre celle du cheptel de poules pondeuses utilisé dans notre expérimentation située à 2,09 soit un écart de 7,6% (Tableau 11).

Tableau 11: Poids des œufs et indice de conversion

	Cheptel expérimental	Standard de la souche
Poids des œufs à la 35 ^{ème} semaine d'âge	57,3	62
Indice de conversion	2,09	1,93

Cette situation résulte de plusieurs faits relevés à partir du registre du bâtiment tels que :

- les nombreuses coupures de courant électrique survenues au cours de l'élevage ont eu un effet dépressif sur la ponte (ISABROWN, 2000).
- l'état sanitaire du cheptel mis en place révèle une colibacillose diagnostiquée par le vétérinaire de l'ITELV.
- par ailleurs, au cours de la 34 et de la 35^{ème} semaine d'âge la température ambiante du bâtiment dépassait 25°C, contribuant à diminuer la ponte (Picard et al., 1987)

II. Effet de l'incorporation de l'enzyme sur les performances zootechniques de la poule pondeuse :

II.1. Mortalité

Le tableau 12 montre qu'aucune mortalité n'a été enregistrée chez les lots supplémentés en enzyme. Par contre, le lot témoin présente un taux de mortalité de 3,3%, supérieur à celui préconisé par le guide standard de la souche qui stipule 1% par mois. Cette réduction de la mortalité chez les poulets supplémentés pourrait être liée à la supplémentation en enzymes.

Tableau 12: Taux de mortalité des poules pondeuses nourries avec un aliment standard ou supplémenté en enzymes (moyenne±écartype, n=5)

Semaine d'âge	Témoin	Lot A	Lot B
35-38 sem.	3,3	0	0

II.2. Evolution de la courbe de ponte et taux de ponte

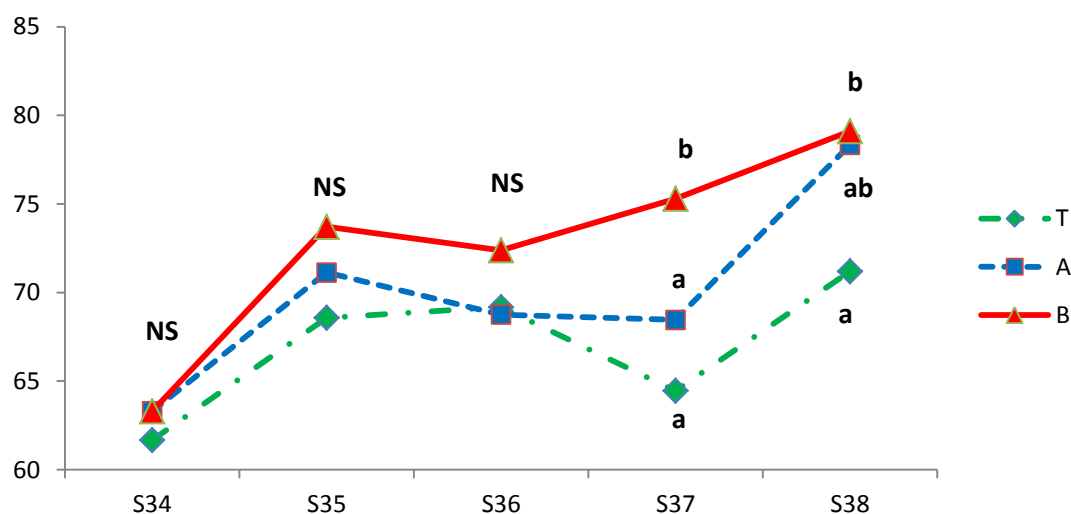


Figure 10: Evolution du taux de ponte des poules pondeuses nourries avec un aliment standard ou supplémenté en enzymes (n=5)(%)

La figure 10 et le tableau 13 montrent l'évolution du taux de ponte au cours de la période expérimentale (35^{ème} à la 38^{ème} semaine d'âge) chez les trois traitements. A la mise en place de l'essai, tous les lots présentaient un taux de ponte moyen de 62,7% proche de celui du cheptel dans sa globalité qui avoisinait 65%.

Au cours de la 35^{ème} et 36^{ème} semaine d'âge, le taux de ponte des lots supplémentés en enzymes n'étaient pas significativement différents de celui du lot témoin ($p > 0.05$). Ce n'est qu'à partir de la 37^{ème} semaine d'âge que le taux de ponte du lot supplémenté à 300g/tonne devienne significativement plus élevé que celui du lot témoin (tableau13) L'écart entre le lot témoin et le lot B est de : +16,8% ($p < 0,05$), ce dernier n'est cependant pas significatif entre le lot témoin et le lot A : +6%, ($p = 0,08$). A la 38^{ème} semaine d'âge, les taux de ponte enregistrés chez les lots A et B sont significativement supérieur à celui du lot témoin : écart moyen 10,5% ($p < 0,05$).

Tableau 13: Evolution hebdomadaire du taux de ponte des poules pondeuses nourries avec un aliment standard ou supplémenté en enzymes (moyenne±écartype, n=5)

Semaine d'âge	Témoin	Lot A	Lot B
34	61,7a	63,3a	63,3a
35	68,6±8,86a	71,16±11,86a	73,76±4,1a
36	69,2±3,8a	68,7±5,3a	72,38±1,7a
37	64,4±4,0a	68,4±3,5a	75,3±2,3b
38	71,2±7,1a	78,32±4,8ab	79,1±2,9b

Dans nos conditions expérimentales, l'ajout d'une préparation enzymatique dans l'aliment a amélioré significativement le taux de ponte de la poule pondeuse après une supplémentation de deux semaines. Des travaux menés dans plusieurs pays et utilisant différents complexes enzymatiques rapportent une amélioration de l'intensité de ponte atteignant 5% (Mori, 2007). En revanche, Madiot (2005) n'enregistre aucun effet de la supplémentation en enzymes sur le taux de ponte. Ceci peut être lié à la nature des enzymes composant le complexe utilisé.

II.3. Evolution du nombre d'œufs pondus par poule selon l'âge et nombre total d'œufs

L'analyse statistique révèle que, durant toute la période expérimentale, le nombre total d'œufs le plus élevé est obtenu avec le lot B comparé aux deux autres lots. L'écart mesuré entre le lot T et A est de 4,6% et celui entre le lot T et B est de 9,02% (Tableau 14). L'incorporation de l'enzyme à la dose préconisée par le fournisseur (250g/tonne) n'a pas amélioré de manière significative le nombre total d'œufs pondus. Ceci a été rapporté par Castaing et Larroudé (2001) en utilisant un complexe enzymatique Avizyme, chez la poule pondeuse âgée entre 24 et 56 semaines. Dans nos conditions expérimentales, l'augmentation de la dose d'incorporation de l'enzyme (de 250 à 300g/tonne) a permis d'améliorer significativement le nombre total d'œufs pondus.

Tableau 14 : Evolution hebdomadaire du nombre d'œufs pondus des poules pondeuses nourries avec un aliment standard ou supplémenté en enzymes (moyenne±écartype, n=5)

Semaine d'âge	Témoin	Lot A	Lot B
<i>Nombre d'œufs total</i>			
	273,4±16,7a	286,6±21,3ab	300,5±4,4b
<i>Evolution du nombre d'œufs pondus par poule et par semaine</i>			
35	4,80±0,61a	4,98±0,82a	5,16±0,28a
36	4,83±0,28a	4,81±0,37a	5,06±0,12a
37	4,50±0,28a	4,78±0,24a	5,26±0,16b
38	4,98±0,50a	5,48±0,33b	5,53±0,20b

L'évolution hebdomadaire du nombre d'œufs pondus par poule n'est pas significativement différent au cours des deux premières semaines de supplémentation. A la 37^{ème} semaine, le lot B présente un nombre d'œufs pondus par poule significativement supérieur à celui des deux autres lots : les écarts respectifs entre le lot B et les lots T et A 14,4% et 9,1%. En revanche, après un mois de supplémentation, l'effet des enzymes est plus prononcé aux deux doses utilisées.

II.4. Poids de l'œuf

L'évolution du poids de l'œuf durant notre expérimentation est rapportée dans le tableau 15.

Tableau 15 : Evolution hebdomadaire du poids de l'œuf des poules pondeuses nourries avec un aliment standard ou supplémenté en enzymes (moyenne±écartype, n=5)

Semaine d'âge	Témoin	Lot A	Lot B
35	56,8±2,2a x	57,1±1,00a x	58,1±1,26a x
37	55,3±1,47ab x	58,9±1,19a y	59,7±1,81a x
38	57,8±0,67a x	59,6±0,98b y	60,6±0,43b xy

Les moyennes suivies en ligne par les lettres a, b, c sont significativement différentes à 5%

Les moyennes suivies en colonne par les lettres x et y sont significativement différentes à 5%

L'analyse de variance montre qu'il n'existe aucune différence significative du poids de l'œuf entre les lots à la 35^{ème} semaine d'âge. En revanche, à partir de la 37^{ème} semaine d'âge de la poule pondeuse, la supplémentation en enzyme induit une augmentation du poids de l'œuf, particulièrement à la 38^{ème} semaine où l'écart moyen est estimé à 3,8% ($p>0,05$).

D'après nos résultats, l'ajout des enzymes à l'aliment de la poule pondeuse améliore de manière significative le poids de l'œuf tel que rapporté par certains travaux où les auteurs utilisent différentes enzymes commerciales (Mori et al., 2007 ; Castaing et Larroudé, 2001 ; Frapin et al., 1999). En revanche, Madiot et al. (2005) soulignent l'effet bénéfique de la supplémentation de l'aliment pour poule pondeuse en un complexe enzymatique contenant des activités endo 1,4- β -xylanases, endo 1,3(4)- β -glucanases, pectinnase et mannanases sur le poids de l'œuf.

II.5. Consommation d'aliment

La consommation d'aliment a été égalisée pour tous les lots à 125 g par poule pondeuse et par jour.

II.6. Efficacité alimentaire

L'indice de conversion relevé durant les 35^{ème}, 37^{ème} et 38^{ème} semaine d'âge de la poule pondeuse est présenté dans le Tableau 16. L'analyse de variance ne montre aucun effet de la supplémentation en enzyme sur la conversion alimentaire. Par contre, à partir de la 37^{ème} semaine, lots recevant de l'enzyme dans leur alimentation ont de meilleurs indices de conversion : une amélioration notable de 15,5% en moyenne durant les deux dernières semaines de supplémentation ($p>0,05$).

Nos résultats révèlent une meilleure efficacité alimentaire chez les poules pondeuses recevant le complexe enzymatique, et particulièrement avec la dose de 300g/tonne d'aliment. L'amélioration de la conversion alimentaire par l'ajout des enzymes dans l'aliment de la poule pondeuse est rapportée par Géraert et al. (1997), Castaing et Larroudé (2001), Respondek (2005) et Mori et al. (2007). Elle serait attribuée à une amélioration de la digestibilité de l'aliment (Géraert et al., 1997), elle-même expliquée, notamment chez le poulet de chair, par une augmentation de la hauteur des villosités intestinales (Xu et al., 2003).

Tableau 16 : Evolution hebdomadaire de l'indice de conversion des poules pondeuses nourries avec un aliment standard ou supplémenté en enzymes (moyenne±écartype, n=5)

Semaine d'âge	Témoin	Lot A	Lot B
<i>Indice de conversion</i>			
35	3,26±0,48a	3,14±0,50a	2,92±0,14a
37	3,40±0,17a	3,11±0,12b	2,79±0,10c
38	3,06±0,31a	2,68±0,15b	2,61±0,09b
Global	3,24±0,23a	2,98±0,21b	2,77±0,06b

II.7. Poids de la poule pondeuse

Au début de l'essai, les poules pondeuses des différents lots expérimentaux avait des poids vifs initiaux quasi similaires (Tableau 17). Néanmoins, à la fin de l'essai, le poids enregistré chez les lots de poules pondeuses supplémentés en enzymes est significativement augmenté par rapport au témoin : +5% en moyenne ($p<0,05$). Soulignons que les poules pondeuses du lot témoin maintiennent leur poids, accusant ainsi le même déficit du début de l'essai comparativement au poids de la souche.

Tableau 17 : Effet de la supplémentation alimentaire en enzymes sur le poids vif des poules pondeuses (moyenne±écartype, n=30)

	Témoin	Lot A	Lot B
Poids moyen début 34 ^{ème} semaine d'âge	1619±95a	1683±50a	1625±57a
Poids moyen final 38 ^{ème} semaine d'âge	1609±63a	1704±50b	1686±86b

II.8. Qualité de l'œuf mesuré à la 38^{ème} semaine d'âge

Le tableau 18 indique les proportions des constituants de l'œuf chez les poules supplémentées ou pas en enzymes exogènes. L'analyse statistique ne révèle aucune différence significative entre les lots.

Tableau 18 : Effet de la supplémentation alimentaire en enzymes sur la qualité de l'œuf des poules pondeuses (moyenne±écartype, n=10)

	T	A	B
Poids de l'œuf	58,7±1,3a	59,6±1,3a	60,1±1,5a
Poids du blanc	35,8±1,2a	34,9±1,4a	33,7±2a
Poids du jaune	14,4±0,6a	14,7±0,7a	15,1±1,03a
Poids de la coquille	5,9±0,52a	5,89±0,27a	5,99±0,24a

A notre connaissance, peu de travaux se sont intéressé à l'effet de la supplémentation alimentaire des poules pondeuses en enzymes sur les constituants de l'œuf. Les travaux rapportent, d'une part, l'effet améliorateur des enzymes sur la propreté des œufs lié à l'augmentation de la teneur de la matière sèche des fientes (Ollofs, 1998), et d'autre part sur la diminution du taux de casse en relation avec une meilleure utilisation du calcium alimentaire (Madiot et al., 2005).

La présente étude nous a permis d'évaluer, dans nos conditions d'élevage, l'effet de la supplémentation de l'aliment en un complexe constitué de quatre enzymes (Protéase, α -amylase, cellulase et Endo-1-4- β - xylanase) sur les paramètres zootechniques de la poule pondeuse.

Il est à noter que le cheptel sur lequel notre expérimentation a été menée présentait des performances en deçà de celles préconisées par le guide standard de la souche (-50%). Il nous semblait judicieux de mesurer l'impact de la supplémentation enzymatique de l'aliment sur l'éventuelle amélioration des performances de la poule pondeuse.

Dans nos conditions expérimentales, la supplémentation en enzymes de l'aliment standard de la poule pondeuse :

- a diminué le taux de mortalité
- a amélioré significativement le taux de ponte, le nombre total d'œufs pondus par poule pondeuse et l'efficacité alimentaire et ce à partir de la 3^{ème} semaine de supplémentation chez la pondeuse recevant un aliment dosant 300g/tonne et à la 38^{ème} semaine d'âge pour les poules recevant la dose préconisée par le fournisseur (250g /tonne).
- mais n'a pas induit une amélioration des proportions des constituants de l'œuf.

D'après nos données, l'augmentation de la dose d'incorporation de l'enzyme a permis d'améliorer la production de la poule pondeuse. La dose préconisée par le fournisseur (250g/tonne) semble agir plus tardivement et faiblement dans ces conditions de production.

La durée de la supplémentation enzymatique gagnerait d'être prolongée afin de rentabiliser la productivité de l'élevage, et de mieux tirer profit de l'aliment utilisé chez la poule pondeuse.

Enfin, en Algérie, l'utilisation des complexes enzymatiques commerciaux est limitée dans l'alimentation de la poule pondeuse. Celle-ci mérite d'être exploitée davantage vu les meilleurs résultats obtenus, particulièrement en cas de difficultés de gestion d'élevage.

- **ALLEN CM., McCracken. K.J., Bedford M.R., 1996:** Effect of fat type, rate of wheat inclusion and enzyme supplementation on diet metabolisability and broiler performance. Br. Poultry Sci. 38: S25S26.
- **ANGEL R., TAMIM N.M., APPELEGATE T.J., DHANDU A.S.,ELLESTAD L.E., 2002:**Phytic acid chemistry: Influence on phytin-phosphorus availability and phytase efficacy. J. Appl. Poult. Res., 2002, 11, 471-480.
- **BECKERS Y., PIRON F., 2009 :** Utilisation des enzymes exogènes en alimentation porcine et avicole. InProceedings of 9ème Journée de Productions porcines et avicoles, 45-53.
- **BULDGEN et al ., 1996 :**Aviculture semi industrielle en climat subtropical. Guide pratique.45p.
- **BULDGEN et al., 1996 :** aviculture semi industriel en climat subtropical. Guide pratique.45p
- **CHEESON A., 1993:** Feed enzymes. Anim. FeedSci. Tech., 45: 65-79.
- **FEDIDA., 1996 :** guide Sanofi santé animale de l'aviculture tropicale,45-51,105-108
- **DOURSON L. ,2008:**
www.conseilscientifique.lumarianne.scholl@igss.etat.lu | B.P. 1308 | L-1013 Luxembourg | 26, rue Ste Zithe | L-2763 Luxembourg.
- **FERKET P R., PARKS CW., AND GRIMES J L., 2002:** Benefits of dietary antibiotic and mannanoligosaccharide supplementation for poultry. Department of Poultry Science. North Carolina State University.
- **INRA., 1991 :**l'alimentation des monogastrique : porc, lapin, volailles 95-97
- **ISA 2005 :** guide d'élevage ISABROWN.
- **JOLY. P., mars 2000:** production d'œufs. forum ITAVI.
- **LARBIER M., LECLERCQ B., 1992 :**In « Nutrition et alimentation des volailles ». Editions INRA. Paris 335 pages.
- **LARINE Mohamed-larbi.,1998 :**etudetechnico-economique de quelques ateliers ponte au niveau de la wilaya d'alger INES.BLIDA.
- **LAROUSSE, 1996 :** édition Larousse, Paris, 1996 :1786 p.

- **LIM H.S., NAMKUNG H., PAIK I.K., 2003:** Effects of phytase supplementation on the performance, egg quality, and phosphorus excretion of laying hens fed different levels of dietary calcium and non phytate phosphorus. *Poult. Sci.*, 82, 92-99.
- **MATHLOUTHI N., 2002:** Mécanismes d'action et d'efficacité alimentaire de la xylanase et de la β -glucanase chez les volailles. Thèse de doctorat Rennes (FRA): Ecole Nationale.
- **PARRA M.A.M., 2001:** Les phytases : structure, caractérisation et applications. 123 bio.net. Biologie et Recherche. Université de Genève Faculté des Sciences- Département de Chimie Organique- Genève Suisse.
- **RUDY J., WODZINSKI R.J., ULLAH A.H., J 1996:** Phytase. *Adv. Appl. Microbiol.*, 42, 263-302. Secrétariat du Conseil Scientifique.
- **SELLE P.H., RAVINDRAN V., 2007:** Microbial phytase in poultry nutrition. *Anim. Feed. Sci. Technol.*, 135, 1-41.
- **UZU G., 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.
- **VAN DER KLIS J.D., VERSTEEGH H.A.J., SIMONS P.C.M, KIESA.K. 1997:** The efficacy of phytase in corn soybean-meal-based diets for laying hens. *Poult. Sci.* 76, 1535-1542.
- **Wyatt C., Queenborough R., 1996:** (Page consultée le 3 mai 1998). How can feed enzymes improve the final product? dans: Alberta Agriculture, Food and Rural Development Home Page. [En ligne], Adresse URL: <http://www.agric.gov.ab.ca/~research/research.html>

Résumé

L'objectif de notre travail expérimental est d'évaluer l'effet d'une supplémentation alimentaire en enzymes avec deux doses (250 et 300g/tonne) sur les performances zootechniques de la poule pondeuse. Au total, 180 poules pondeuses de souche ISA Brown âgées de 34 semaines sont réparties en 3 groupes (n=60). Chaque groupe, comprenant 5 répétitions de 12 poules pondeuses, reçoit un aliment pour le groupe T, un aliment supplémenté à 250g/tonne pour le groupe A et 300g/tonne pour le groupe B et ce de la 35^{ème} à la 38^{ème} semaine d'âge.

Dans nos conditions expérimentales, la supplémentation alimentaire en enzymes a augmenté le taux de ponte et le nombre total d'œufs pondus respectivement de 16,8% et 4,6%, et ce particulièrement après 3 et 4 semaines d'ajout de l'enzyme pour les lots B et A. L'efficacité se trouve également améliorée en moyenne de 15,5%. En revanche, la supplémentation alimentaire en enzymes n'a pas eu d'effet sur les constituants de l'œuf.

Abstract

The aim of this study was to investigate the effect of a diet supplementation with enzymes at 2 levels (250 and 300g/ton) on the zootechnical performances of layer hens.

A total of 180 34-weeks-old Isa brown layers was divided into 3 groups (n=60) with 5 replicates of 12 birds each. The control group (T) was fed with a standard diet and the 2 other groups received the same diet supplemented with 250g/ton (group A) or 300g/ton (group B) from 35 to 38 weeks of age.

In our experimental conditions, the dietary addition of the enzyme increased the rate of laying and the total number of eggs by about 16,8% and 4,6%, respectively and especially after 3 and 4 weeks of dietary enzyme supplementation. The dietary efficiency was also ameliorated by about 15,5%. However, the dietary enzyme supplementation did not modify the egg components.

ملخص

الهدف من عملنا التجريبي هو تقييم تأثير المكملات الغذائية مع مقدارين من الإنزيمات (250 و 300 غ/طن) على أداء الحيوانات من الدجاج البياض. مع مجموعه 180 من سلالة الدجاج البياض ISA براون حيث تتراوح أعمارهم ب 34 أسبوعا وتنقسم إلى 3 مجموعات (ن = 60). كل مجموعة مكون من 12 دجاجة تتكرر 5 مرات، تتلقى للمجموعة T نظام غذائي عادي، مع إتباع نظام غذائي مستكمل 250 غ/طن لمجموعة A والمجموعة B 30 غ/طن من وإلى 35 إلى 38 أسبوعا من العمر. في ظروف تجريبية لدينا، وزيادة مكملات غذائية مع الإنزيمات يرفع ولادة البيض الذي تضعه على التوالي 16.8 % 4.6٪، وخصوصا بعد 3 إلى 4 أسابيع لإضافة إنزيم للحصة A وب تم تحسين كفاءة بمعدل 15.5٪. في المقابل، كان مكملات غذائية مع الإنزيمات ليس لها أي تأثير على الناحيتين من البيض.

ANNEXE

Tableau 9: Journal Officiel de la République Tunisienne — 13 septembre 2005

Additifs	Désignation chimique Description	Unité d'activité / kg d'aliment	Autres dispositions
M - Les enzymes 3-Phytase EC 3.1.3.8	Préparation de 3- Phytase produite par <i>Aspergillus</i> <i>Niger</i> (CBS 114.94) ayant une activité minimale de phytase de 5000 FTU ⁽¹⁾ / g pour les préparations solides et liquides	125 FTU ⁽¹⁾	1. Dans le Mode d'emploi de l'additif et du pré Mélange, indiquer la Température de stockage, la durée de conservation et la stabilité à la granulation. 2. Dose recommandée : 100 g / tonne d'aliment complet. 3. utiliser dans les aliments composés ayant une teneur minimale en phytate de 0,3 %.
6 – Phytase EC 3.1.3.26	Préparation de 6- phytase produite par <i>Aspergillus</i> <i>Oryzae</i> (DSM 11857) ayant une activité minimale de :Enrobé 2500 FYT ⁽²⁾ / g Liquide 5000 FYT ⁽²⁾ /g	250 FYT ⁽²⁾ 500 FYT ⁽²⁾ 700 FYT ⁽²⁾	1. Dans le mode d'emploi de l'additif et du pré mélange, indiquer la température de stockage, la durée de conservation et la stabilité à la granulation. 2. Dose recommandée : 50 à 200 g / tonne d'aliment complet. 3. A utiliser dans les aliments composés contenant plus de 0,25 % de phosphore lié à la phytine.
Mélange enzymatique composé de : 1) Endo-1,4- bétaxylanase EC 3.2.1.8 2) Endo-1,3(4)-béta- glucanase EC 3.2.1.6 3) Subtilisine EC 3.4.21.62 4) Alpha-amylase Amylase EC 3.2.1.1 5) Polygalacturonase EC	Préparation enzymatique d'Endo-1,4-bétaxylanase produite par <i>Trichoderma</i> <i>longibrachiatum</i> (ATCC 2105) d'Endo-1,3(4)-béta- glucanase et d'Alpha- amylase produite par <i>Bacillus amylolique-faciens</i> (DSM 9553) et de Subtilisine produite par <i>Bacillus subtilis</i> (ATCC 2107) et de Polygalacturonase produite par <i>Aspergillus culeatus</i> (CBS 589. 94). ayant une	Endo-1,4-béta- xylanase 300 U ₍₁₀₎ /g Endo- 1,3(4)-béta- glucanase 150U ₍₉₎ /g Subtilisine 4000 U ₍₁₁₎ /g Alpha- amylase 400 U ₍₁₂₎ /g Polygalacturo- nase 25 U ₍₁₃₎ /g	1. Dans le mode d'emploi de l'additif et du pré mélange, indiquer la température de stockage. la durée de conservation et la stabilité à la granulation. 2. Dose recommandée : 1000 g / tonne d'aliment complet. 3. A utiliser dans les aliments composés riches en polysaccharides non amylacés (principalement bêta-glucanes et arabinoxylanes).

3.2.1.15	activité minimale de : Endo-1.4-béta-xylanase 300 U ₍₁₀₎ / g Endo-1,3(4)-béta-glucanase 150U ₍₉₎ /g Subtilisine 4000 U ₍₁₁₎ / g Alpha-amylase 400 U ₍₁₂₎ / g Polygalacturonase 25 U ₍₁₃₎ / g		
Mélange enzymatique composé de : 1)Endo-1.3(4)-béta-glucanase EC 3.2.1.6 2)Endo-1,4-béta-xylanase EC 3.2.1.8	Préparation enzymatique d'Endo-1.3(4)-béta-glucanase et d'Endo-1,4-béta-xylanase produite par <i>Penicillium fmiculosum</i> (IMI SD 101) ayant une activité minimale de : Liquide : Endo-1.3(4)-béta-glucanase 500 AGL ₍₆₎ /ml Endo-1.4-béta-xylanase 350 AXC ₍₇₎ / ml Poudre : Endo-1.3(4)-béta-glucanase 2000 AGL ₍₆₎ /g Endo-1,4-béta-xylanase 1400 AXC ₍₇₎ / g	Endo-1,3(4)-béta-glucanase 100 AGL ₍₆₎ Endo-1.4-béta-xylanase 70 AXC ₍₇₎ ,	1. Dans le mode d'emploi de l'additif et du pré mélange, indiquer la température de stockage, la durée de conservation et la stabilité à la granulation. 2. Dose recommandée : Poudre 50 g / tonne d'aliment complet ou liquide 200ml / tonne d'aliment complet. 3. A utiliser dans les aliments composés riches en polysaccharides non amylacés (principalement béta-glucanes et arabinoxylanes).
Mélange enzymatique composé de : 1)Endo-1.3(4)-béta-glucanase EC 3.2.1.6 2)Endo-1.4-béta-xylanase EC3.2.1.8 3) Subtilisine EC 3.4.21.62	Préparation enzymatique d'Endo-1.3(4)-béta-glucanase d'Endo-1,4-béta-xylanase produite par <i>Trichoderma longibrachiatum</i> (ATCC 2106) et de Subtilisine produite par <i>Bacillus subtilis</i> (ATCC 2107) ayant une activité minimale de: Endo-1.3(4)-béta-glucanase 100U ₍₉₎ /g Endo-1,4-béta-xylanase 300 U ₍₁₀₎ / g Subtilisine 800 U ₍₁₁₎ /g	Endo-1,3(4)-béta-glucanase 30U ₍₉₎ Endo-1,4-béta-xylanase 90 U ₍₁₀₎ Subtilisine 240 U ₍₁₁₎	1. Dans le mode d'emploi de l'additif et du prémélange, indiquer la température de stockage, la durée de conservation et la stabilité à la granulation. 2. Dose recommandée : 750 g / tonne d'aliment complet. 3. A utiliser dans les aliments composés riches en polysaccharides non amylacés (principalement béta-glucanes et arabinoxylanes).

(1)Un FTU est la quantité d'enzyme qui libère une micromole de phosphate inorganique par minute à partir de phytate de sodium à pH 5.5 et à 37°C

(2)Un FYT est la quantité d'enzyme qui libère un micromole de phosphate inorganique par minute à partir de phytate de sodium à pH 5,5 et à 37°C

(3)Un U est la quantité d'enzyme qui libère 0,1 micromole de glucose par minute à partir de carboxyméthylcellulose. à pH5.0 et à 40°C.

- (4) Un U est la quantité d'enzyme qui libère 0.1 micromole de glucose par minute à partir de bêta-glucane d'orge, à pH 5,0 et à 40°C
- (5) Un U est la quantité d'enzyme qui libère 0,1 micromole de glucose par minute à partir de xylane de balle d'avoine, à pH 5,0 et à 40°C
- (6) Un AGL est la quantité d'enzyme qui libère 5.55 micromoles de sucres réducteurs (mesurés en équivalent maltose) par minute à partir de bêta-glucane d'orge à pH 4,6 et à 30°C.
- (7) Un AXC est la quantité d'enzyme qui libère 17,2 micromoles de sucres réducteurs (mesurés en équivalent maltose) par minute à partir de xylane d'avoine à pH 4,7 et à 30°C.
- (8) Un FBG est la quantité d'enzyme qui libère 17,2 micromoles de sucres réducteurs (mesurés en équivalent glucose) par minute à partir de glucane d'orge à pH 5 et à 30°C.
- (9) Un U est la quantité d'enzyme qui libère 1 micromole de sucres réducteurs (mesurés en équivalent glucose) par minute à partir de bêta-glucane d'orge à pH 5 et à 30°C.
- (10) Un U est la quantité d'enzyme qui libère 1 micromole de sucres réducteurs (mesurés en équivalent xylose) par minute à partir de xylane de balle d'avoine à pH 5,3 et à 50°C.
- (11) Un U est la quantité d'enzyme qui libère 1 microgramme de composé phénolique (mesurés en équivalent tyrosine) par minute à partir de substrat de caséine à pH 7,5 et à 40°C.
- (12) Un U est la quantité d'enzyme qui hydrolyse 1 micromole de liaisons glucosidiques par minute à partir de substrat de polymère amylicé lié transversalement et insoluble dans l'eau à pH 6.5 et 37°C.
- (13) Un U est la quantité d'enzyme qui libère 1 micromole de matériaux réducteurs (mesuré en équivalents acide galacturonique) par minute à partir d'un substrat poly D- galacturonique. à pH 5.0 et à 40°C".

Tableau: Journal officiel de l'Union européenne 2010

Additif	Désignation chimique, description	Teneur Unités d'activité/kg d'aliment complet	Autres dispositions
Endo-1,3(4)-bêta-glucanase EC 3.2.1.6	Préparation d'endo-1,3(4)-bêta-glucanase produite par <i>Aspergillus aculeatus</i> (CBS 589.94),	Endo-1,3(4)-bêta-glucanase: 500 U	1. Dans le mode d'emploi de l'additif et du 2. pré mélange, indiquer la température de stockage, la durée de conservation et la stabilité à la granulation. 3. Dose recommandée par kg d'aliment complet: endo-1,3(4)-bêta-glucanase: 500-1 500 U endo-1,4-bêta-glucanase: 6 000-18 000 U alpha-amylase: 20-60 U endo-1,4-bêta-xylanase: 10 500-31 500 U 3. À utiliser dans les aliments composés pour animaux riches en polysaccharides non amylacés (principalement bêta-glucanes et arabinoxylanes), par exemple contenant de 30 à 50 % de blé.
Endo-1,4-bêta-glucanase EC 3.2.1.4	d'endo-1,4-bêta-glucanase produite par <i>Trichoderma longibrachiatum</i> (CBS 592.94),	Endo-1,4-bêta-glucanase: 6 000 U	
Alpha-amylase EC 3.2.1.1	d'alpha-amylase produite par <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> (DSM 9553) et	Alpha-amylase: 20 U	
Endo-1,4-bêta-xylanase EC 3.2.1.8	d'endo-1,4-bêta-xylanase produite par <i>Trichoderma viride</i> (NIBH FERM BP4842) ayant une activité minimale de: endo-1,3(4)-bêta-glucanase: 10 000 U ⁽¹⁾ /g endo-1,4-bêta-glucanase: 120 000 U ⁽²⁾ /g alpha-amylase: 400 U ⁽³⁾ /g endo-1,4-bêta-xylanase: 210 000 U ⁽⁴⁾ /g'	Endo-1,4-bêta-xylanase: 10 500 U	

(¹) 1 U est la quantité d'enzyme qui libère 0,0056 micromole de sucres réducteurs (mesurés en équivalents glucose) par minute à partir de bêta-glucane d'orge, à pH 7,5 et à 30 °C.

(²)1 U est la quantité d'enzyme qui libère 0,0056 micromole de sucres réducteurs (mesurés en équivalents glucose) par minute à partir de carboxyméthylcellulose, à pH 4,8 et à 50 °C.

(³)1 U est la quantité d'enzyme qui hydrolyse 1 micromole de liaisons glucosidiques par minute à partir de polymère amylicé lié transversalement et insoluble dans l'eau, à pH 7,5 et à 37 °C.

(⁴)1 U est la quantité d'enzyme qui libère 0,0067 micromole de sucres réducteurs (mesurés en équivalents xylose) par minute à partir de xylane de bois de bouleau, à pH 5,3 et à 50 °C.