

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE SAAD DAHLAB DE BLIDA

FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

DEPARTEMENT DE BIOTECHNOLOGIE

ETUDE DE L'EFFET DE LA PHYTASE SUR LES PERFORMANCES DES POULES PONDEUSES

Projet de fin d'étude en vue de l'obtention

Du diplôme de Master

**Spécialité : Biotechnologie de l'alimentation et amélioration des
performances animales**

Présenté par :

DAHMANI FARID

Devant le jury composé de :

Mme HADJ KADOUR.A	MAA USDB	Président de jury
Mr BOUKHELIFA. A	MAA USDB	Promoteur
Mme BABA ALI. A	MAA USDB	Examinatrice
Mme KAUCHE. S	MAA USDB	Examinatrice

ANNEE UNIVERSITAIRE 2013/2014

Remerciements

Au terme de ce travail,

Tout d'abord, je remercie ﷻ de m'avoir donné la santé, la patience et les moyens, à fin que je puisse accomplir ce travail.

Je saisi cette occasion pour exprimer ma profonde gratitude à l'ensemble des professeurs du département de Biotechnologie de Blida et en particulier Mr BOUKHELIFA d'avoir dirigé mon travail et de m'avoir soutenu et aidé tout au long de l'exécution de cette thèse

Mes vifs remerciements vont tout d'abord à Mme HADJ KADOUR pour l'honneur qu'il m'a fait de présider mon jury, et également à Mme BABA ALI et Mme KAOUCH pour avoir accepté de juger ce travail.

A tous ceux et celles qui m'ont apportés un soutien moral, qu'ils veuillent bien accepter mes sincères remerciements. Tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Farid Dahmani

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

À mes chères parents en témoignage de l'amour, du respect et de ma profonde et éternelle gratitude que je leurs porte et ma reconnaissance pour leur soutien et leur encouragements que m'ont prodigués tout au long de ma vie.

À mes chers frères et ma sœur pour leurs sacrifices et leurs aides illimitées tout au long de mes études et tout la famille DAHMANI, Que dieu vous préserve longue vie et prospérité.

À tous ceux qui pensent à moi et que je n'ai pas mentionné.

À Mr. Mhammed Baa responsable d'Unité SPA Avitedj et tous les travailleurs de l'unité

À mes amis, spécialement Housseem, Ilyas ,Amine, Khaled , Younes, Fares, Mohammed, Moh, Razak, Radoun ,Zaki, Wahid, Abdullah, Walid, Kamal, Mahfoud, Farouk ,Djamel, Mariam, Oussama, Fares ,et toute ma promotion de SNV.

FARID

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	1
PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE	
CHAPITRE I : ALIMENTATION DE POULE POUNDEUSE.....	3
CHAPITRE II : CALCIUM ET PHOSPHORE DANS L'ALIMENTATION DES VOLAILLES.....	11
CHAPITRE III : PHYTASES ET LEUR IMPORTANCE DANS L'ALIMENTATION ANIMALE.....	31
PARTIE EXPERIMENTALE	
MATERIELS ET METHODES.....	45
RESULTATS ET DISCUSSION.....	56
CONCLUSION	
REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE	
ANNEXES	

LISTE D'ABREVIATIONS

€: Euro.

°c: degree Celsius.

AME : Energie Métabolisable Apparente.

ATP : Adrienne Triphosphate.

Ca : calcium

CaBP : Calcium Binding Protéine.

CMQ : Consommation Moyen Quotidien

CMV : Complément Minérale Vitaminique

CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique.

CUDr : Coefficient d'Utilisation Digestif relatif

DA : Dinar Algérie.

Exp : expérience.

FTU- UP : Unité Phytasique.

g : gramme.

GMQ : Gain Moyen Quotidien.

h : heure.

INA : Institut National Agronomique.

INRA : Institut National des Recherches Agronomiques.

IP : Inositol Phosphate.

j: jour.

kcal: Kilocalorie.

kDa: Kilo Dalton.

Kg : kilogramme.

LCR : liquide Céphalo-Rachidien.

MADR : Ministère de l' Agriculture et du Développement Rural.

mg : milligramme.

MJ : Méga Joule.

MM : matière minérale.

MS : Matière sèche.

N : Newton.

NaHPO₄: Ion monohydrogenophosphate de sodium

NRC: National Research Council.

P: phosphore.

Pdig : phosphore digestible.

pH : Potentiel d'hydrogène.

PNP : Phosphore non Phytique.

PP : Phosphore Phytique.

ppm : partie pour million.

PTH : La parathormone.

T : témoin.

t : tonne.

UI : Unité Internationale.

VBR : Valeurs biologiques relatives.

Vit D : Vitamine D.

µm : Micro mètre.

Liste des tableaux

Tableau 01 : Exemple de composition d'aliment standard poulette et poule pondeuse selon des besoins nutritionnels moyens pour une consommation journalière de 110 grammes par poule.....	3
Tableau 02 : Effet de la teneur en énergie du régime sur la quantité et qualité de l'œuf chez la poule.....	4
Tableau 03 : Le besoin journalier en acides aminés en période de production dépend du taux de ponte et de la croissance.....	5
Tableau 04 : Effet du pourcentage de carbonate de calcium grossier (2-4 mm) sur les caractéristiques des coquilles.....	7
Tableau 05 : composition minérale de l'œuf de poule (mg/g d'œuf).....	8
Tableau 06 : maximales de certains éléments chimiques.....	9
Tableau 07 : Addition en vitamines pour les poules pondeuses.....	9
Tableau 08 : Addition en Oligo-minéraux pour les poules pondeuses.....	10
Tableau 09 : Valeur biologique comparée des phosphates inorganiques en phosphore (%)......	17
Tableau 10 : Influence du niveau d'activité phytasique sur la rétention de P chez le poulet.....	20
Tableau 11 : Influence du niveau d'activité phytasique sur la rétention apparente du phosphore phytique chez le poulet.....	20
Tableau 12 : Composition en calcium et phosphore de quelques matières premières.....	25
Tableau 13 : Répartition des différents inositol-phosphates dans quelques matières premières rapportées à sa matière sèche en g/Kg. (IP : Inositol Phosphate).....	27
Tableau 14 : Localisation de l'acide phytique dans le grain.....	28
Tableau 15 : Phosphore phytique (en g/kg) des principales matières premières en alimentation animale.....	28
Tableau 16: Teneurs en phosphore total et phosphore phytique de quelques matières premières...	29
Tableau 17: Valeurs biologiques relatives (VBR) des principaux phosphates.....	30
Tableau 18 : Activité phytasique moyenne des matières premières Unité/kg.....	31
Tableau 19 : Répartition comparée de la phytase et des phytates dans le grain de blé.....	32
Tableau 20 : Formule ponte ISA Brown de 28 à 50 semaines avec phytase.....	49
Tableau 21: Formule ponte ISA Brown de 28 à 50 semaines sans phytase.....	49
Tableau 22 : Valeur nutritionnelle de l'aliment.....	49
Tableau 23: Plan de traitement médical en période de stage.....	52
Tableau 24: Effet de la ration à base de phytase sur le poids vif des poules.....	56
Tableau 25 : Effet de la ration en phytase sur l'homogénéité.....	56

Tableau 26 : Effet de la ration en phytase sur le GMQ.....	57
Tableau 27: Effets de la phytase sur le taux de ponte.....	59
Tableau 28 : Effet de la supplémentation de la ration en phytase sur le taux de casse.....	60
Tableau 29 : L'influence de la phytase sur le poids.....	60
Tableau 30: Effet de la supplémentation enzymatique sur la masse d'œuf.....	61
Tableau 31 : Effet de la phytase sur le poids de la coquille.....	62
Tableau 32: Effet de la phytase sur le rapport coquille / œuf.....	63
Tableau 33: Effet de phytase sur la consommation journalière d'aliment par poule (g/j/poule)...	64
Tableau 34 : Effet de la phytase sur l'indice de consommation.....	65
Tableau 35: Effet de ration en phytase sur le taux de mortalité.....	69
Tableau 36 : Etude économique de l'effet de la supplémentation des phytases dans l'alimentation des poulets.....	71

Liste des figures

Figure 1 : Tractus digestif du poulet.....	12
Figure 2: Etapes de l'absorption intestinale du calcium.....	13
Figure3: Relation entre la teneur en P (g/kg) de l'aliment et la rétention apparente de P (%).....	20
Figure 4: Diagramme schématisant les principales actions de la parathormone (PTH).....	23
Figure 5: Régulation du métabolisme calcique en cas d'hypercalcémie.....	24
Figure 6: Structure chimique du myo inositol, de l'acide phytique et des phytates.....	26
Figure 7: Structure de l'acide phytique.....	26
Figure 8 : Hydrolyse de l'acide phytique par la phytase.....	34
Figure 9: Etapes de l'hydrolyse d'une phytate par une phytase.....	35
Figure 10 : pH dans le tractus gastro-intestinal du poulet.....	36
Figure 11: pH optimal de 3 phytases ; Ronozyme®, Natuphos®, Quantum™.....	37
Figure 12: Effet de la température de granulation sur le ratio phosphore phytique / phosphore total (%) et l'activité phytasique du blé (g/kg MS).....	38
Figure13 : Interaction entre phytases végétales et microbiennes.....	44
Figure 14 : Présentation des lots dans le bâtiment.....	52
Figure 15: Le gain moyen quotidien par poule par semaine.....	57
Figure 16: Evolution du taux de ponte par semaine.....	59
Figure 17 : Evolution du poids d'œuf par semaine.....	61
Figure 18: Rapport poids de la coquille / poids d'œuf.....	63
Figure 19 : Effet de la supplémentation du régime en phytase sur la consommation alimentaire individuelle quotidienne.....	65
Figure 20: Effet de phytase sur l'indice de consommation.....	66
Figure 21 : La relation ente la consommation moyenne quotidienne d'aliment par rapport à l'indice de consommation.....	66
Figure 22: La relation entre la consommation moyenne quotidienne par rapport au poids d'œuf...	68

Liste des photos

Photo 1 : Les photos du bâtiment.....	46
Photo 2 : Centre de fabrication d'aliment.....	47
Photo 3 : Les poules dans les cages.....	48
Photo 4 : Phytase (Ronozme NP).....	51
Photo 5 : Effet de phytase sur la couleur des œufs.....	69
Photo 6 : Effet d'utilisation de phytase sur la chute des plumes.....	70

SUMMARY

Phosphorus (P) is a key element to the maintenance and production of eggs by hen layers. As most of the P present in feed is not directly available, phytate 6-phosphatase (phytase) supplementation could be beneficial. In this study the effects of the microbial phytase on the utilization of P by hen layers was evaluated for 8 weeks.

420 hen layers were divided to 4 groups; the two groups fed on formula base and the last two groups to which we added 0.06kg with phytase / 1000 kg of feed which is a-6-phytase from a genetically modified strain of *Aspergillus oryzae*

The results were good in increasing the rigidity of the egg shell and the weight of the egg shell in experience was greater than in the control and also the feed conversion ratio for the control (2.08) is higher than in the experiment (1.82). And also for daily consumption that is low for the experiment (114,11g / d) compared to the control (119,90g / d).

Key words: phytase, phosphor, hen layers, egg production.

RESUME

Les poules pondeuses ont besoin de phosphore pour produire des œufs et pour l'entretien. Cette exigence se traduit par l'utilisation de phosphore bicalcique d'origine minérale ce qui conduit à des effets négatifs, en particulier dans le domaine économique et de la pollution.

D'autre part, il existe du phosphore dans l'aliment présent sous forme phytique, non hydrolysé dans l'intestin ; donc l'utilisation de phytase microbienne présente un avantage économique et zootechnique.

Pour identifier ses effets, la phytase a été testée sur la poule pondeuse dans une expérience utilisant 420 poulets de souche ISA Brown pendant 8 semaines en utilisant deux formules à base de maïs et de tourteau de soja pour la première formule sans phytase et la deuxième avec 0.06kg phytase /1000kg d'aliment qui est une 6-phytase d'une souche génétiquement modifiée d'*Aspergillus oryzae*. Cette expérience a donné des résultats remarquables en ce qui concerne la consommation quotidienne qui est moindre pour l'expérience (114,11g/j) par rapport au témoin (119,90g/j) et aussi pour l'indice de consommation du lot témoin (2,08) plus élevé que chez le lot expérimental (1,82), le poids de la coquille dans l'expérience (6,60±0,35g) était supérieur à celui du lot témoin (6,10±0,11g).

Mots clés : phytase, phosphore, pondeuses, production d'œufs.

المخلص

الدجاج البياض يحتاج الى كثير من الفسفور من اجل انتاج البيض و لاحتياجات الاخرى , هذه الاحتياج يجعل ملزمين بتوفير الفسفور ثنائي الكالسيوم , و هذا الاخير له تأثيرات جانبية سلبية على التلوث و على الاقتصاد بسبب غلاءه.

من جهة اخرى يوجد الفسفور عضوي في الغذاء , على شكل فيتات(phytate) غير قابل لتحلل في الجهاز الهضمي , لذلك استعمال الفيتاز (phytase) الميكروبي له فوائد على لاقتصاد و الانتاج

قمنا بدراسة التأثير الذي يحدثه الفيتاز من نوع *Aspergillus aryza* على 420 دجاجة نوع ISA Brown لمدة 8 اسابيع بإضافة 0,06 كيلو غرام /1000 كيلو غرام من الغذاء فتحصلنا على نتائج قيمة , فكان الاستهلاك اليومي قليل في التجربة ب 114,11 غرام في اليوم على العكس من الشاهد الذي كان ب 119,90 غرام في اليوم , ايضا وجدنا ان معامل الاستهلاك في الشاهد (2,08) اكبر من ما هو في التجربة (1.82) , كما زاد الفيتاز في صلابة البيضة في التجربة بزيادة وزن قشرة البيضة (6,60±0,35) غرام) عكس الشاهد الذي كان وزنه اقل (6,10±0,11) غرام).

كلمات البحث: فيتك(phytique) , الفيتاز (phytase) , الفسفور, انتاج البيض.

INTRODUCTION

Introduction

Les progrès dans la nutrition et l'alimentation, sont responsables en partie des progrès des filières avicoles. Aujourd'hui, la maîtrise des techniques de l'alimentation est le moyen le plus puissant pour baisser les coûts de production et améliorer la qualité des produits ; adaptée aux conditions d'élevage. Une alimentation équilibrée fait aussi disparaître un certain nombre de risques pathologiques dû a des carences en protéines, vitamines et minéraux.

En aviculture, plus que dans toute autre production animale, la nutrition correctement établie permet aux élevages d'extérioriser pleinement leurs potentiels.

Les aliments destinés aux volailles couvrent aujourd'hui à peu près tous les besoins nutritionnels. Les carences d'apport sont rares et dues le plus souvent a des problèmes des erreurs humaines ou plus encore a des problèmes d'absorption, qu'il faut savoir soupçonner comme les fautes de formulation des aliments qui sont dues a l'absence de connaissances adéquates dans ce domaine, ou au l'exigence des éleveurs sur le taux d'incorporation de certains matières premières dans l' aliment.

L'aliment représente plus 70% (**MADR., 2012**), du cout de production dans l'élevage de poulet. Il est donc important d'accorder une attention particulière à ce paramètre. Ce dernier est le premier poste intervenant dans le prix de revient de l'œuf.

L'industrialisation de l'élevage des animaux et l'amélioration de l'efficacité nutritionnelle d'un aliment oblige donc à avoir recours a l'emploi d'additifs alimentaires dont l'utilisation s'est généralisée en alimentation animale depuis de nombreuses décennies ; ceci pour augmenter la production tout en maintenant un bon état général de sante de ces animaux.

Aussi l'amélioration de la production est devenue d'une grande importance économique et a fait l'objet de nombreuses recherches.

Les poules pondeuses ont besoin d'un apport en phosphore pour leurs besoins d'entretien et pour leurs besoins de production. Leur alimentation est souvent supplémentée en phosphore minéral car le phosphore organique est stocké dans les végétaux sous forme d'acide phytique ou phytates n'est pas utilisable par les animaux monogastriques. L'augmentation du prix du phosphore inorganique pousse les nutritionnistes d'améliorer la disponibilité du phosphore des plantes et ainsi réduire l'ajout de phosphore inorganique dans

les rations alimentaires, comme c'est le cas du phytase dans l'aliment du poulet de chair. Probablement dans un but d'améliorer l'assimilation du phosphore et diminuer les coûts de production ou, pour obtenir un maximum de indice de consommation.

L'addition de phytase microbienne dans la ration alimentaire apparaît donc comme une solution pour améliorer la disponibilité du phosphore phytique et réduire l'apport de phosphore minéral. Plusieurs études (**Van Der Klis *et al.*, 1997**), (**Panda *et al.*, 2005**) ont montré qu'en plus d'une diminution de phosphore dans les excréments, l'addition de phytase dans un aliment déficient en phosphore permet une amélioration de l'absorption iléale du phosphore, de la production d'œufs et une augmentation du taux de cendres des tibias chez la poule pondeuse. Cette étude propose d'évaluer l'efficacité de dose croissante d'une phytase, sur la digestibilité iléale apparente du phosphore chez la poule pondeuse nourrie avec un aliment très pauvre en phosphore. L'incorporation de la phytase dans l'alimentation des poules pondeuses a été peu étudiée sans doute parce que les besoins en phosphore (P) des poules pondeuses n'ont pas été établis avec certitude et que la recommandation du **NRC, 1994** de 250 mg de P non phytique / poule / jour est excessive **Keshavarz, 2000**.

À cette fin, il est proposé dans le cadre de ce travail pour étudier l'effet de l'ajout de phytase souche d'*Aspergillus oryzae* dans la système de nutrition de poules pondeuses de l'âge de 43^{ème} semaine pour une période de 56 jours pour connaître les résultats du rendement productif .

PARTIE
BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : ALIMENTATION DE LA POULE PONDEUSE

I.1. L'alimentation

L'aliment est distribué à la poule pondeuse dans le but d'en apporter tous les nutriments en quantité suffisante pour satisfaire à la fois ses besoins d'entretien et les besoins de production des œufs.

Plusieurs auteurs tels que (**Blum, 1984**) précisent que la production des œufs dépend des niveaux protéiques, énergétiques et du taux de sels minéraux de l'aliment.

À l'entrée en ponte l'organisme de la poulette continue à se développer pendant plusieurs semaines en plus de la production des œufs. Pour cela l'aliment utilisé est complètement différent de l'aliment d'élevage poulette ; les besoins de la poule pondeuse varient en fonction du stade de production (**Joly, 1989**) ce qui nécessite l'élaboration de plusieurs formules alimentaires ; par exemple le tableau 01 suivant donne un aliment standard selon les besoins.

Tableau 01 : Exemple de composition d'aliment standard poulette et poule pondeuse selon des besoins nutritionnels moyens pour une consommation journalière de 110 grammes par poule

Age Elément	Poulette démarrage (0-1 semaines)	Poulette croissance finition (10-20sem)	Début de ponte (20-40sem)	Milieu de ponte (40-55sem)	Fin de ponte (à partir de 55semaines)
EM kcal/kg aliment	2700	2600	2800	2800	2800
Protéine Brute %	18-19	18	17	16.5	16
Méthionine%	0.4-0.5	0.3-0.35	0.37	0.36	0.35
Lysine %	1	0.7	0.78	0.75	0.73
Calcium %	1	1.10	3.8	4	4.2
phosphore %	0.48	0.4	0.4	0.38	0.36

Source : (**Simons et al., 1997**)

I.1.1. Besoins énergétiques

Les poules adaptent relativement bien leur consommation d'aliment en fonction du niveau énergétique de l'aliment. Celui-ci peut varier dans des limites relativement larges. Le choix du niveau énergétique dépend plus de considérations économiques que nutritionnelles. À niveau énergétique constant, les oiseaux 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.

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).

On distingue deux parts dans les dépenses celle qui concerne leur entretien et celle qu'exige leur production. Selon (Adem ,1988) les besoins journaliers de la pondeuse sont de l'ordre de 282 calories pour une température de 25°C dont 162 calories sont consacrées pour l'entretien.

Par ailleurs (Skinnire et al ., 1983) rapportent que le taux énergétique et la température ambiante ont un effet prépondérant sur les performances de production de la pondeuse.

D'une manière générale le quantile des œufs exportés par jour n'est pas affectée par le niveau énergétique de l'aliment.

Selon (Talbine, 1993) le taux énergétique n'affecte pas significativement la production journalière de la poule cependant un taux trop élevé provoque une faible production, la qualité de l'œuf est faiblement affectée (Tableau 2)

Tableau 2 : Effet de la teneur en énergie du régime sur la quantité et qualité de l'œuf chez la poule

Teneur en énergie (kcal)	Taux de ponte (%)	Poids moyen de l'œuf (g)	Résistance de la coquille	Unité Haugh
2737	70.00	59.40	14.10	85.40
3003	71.40	60.10	13.40	85.20
3322	68.30	60.60	14.80	83.50

Source : (ISA, 2011)

Dans la pratique on peut préconiser une concentration énergétique comprise entre 2700 et 2900 kcal d'énergie métabolisable par kg selon le coût des matières premières.

Pour satisfaire ces besoins on utilisera des matières premières dont on recherche le niveau des tables de composition des matières premières.

I.1.2. Besoins protéiques

Entre 1 et 6 semaines les besoins de la poulette en protéines en cette période sont proches de ceux du poulet de chair femelle, dans les 28 premiers jours le besoin en acides aminés des femelles ponte n'est inférieur que d'environ 3%, à celui des femelles chair (Boita et Verger., 1983), alors que les femelles ponte sont beaucoup plus maigres que les femelles chair. La poulette consomme 18% de protéines brutes, les teneurs en lysine et acide aminé soufrés sont respectivement de 0.85 et 0,70 %, l'apport minimum de méthionine étant de 0.33a

CHAPITRE I : ALIMENTATION DE LA POULE PONDEUSE

0,35%. Entre 17 et 24 semaines, la consommation d'aliment devrait augmenter de 40 %. Le maximum de consommation doit être atteint dans les semaines du pic de ponte. Dans l'objectif de satisfaire les besoins quotidiens à l'entrée en ponte, nous recommandons de considérer que la consommation moyenne entre 17 et 28 semaines d'âge, est inférieure de 7 g environ à celle observée après 28 semaines d'âge. Aussi, afin de couvrir les besoins quotidiens, les teneurs en acides aminés des aliments doivent être adaptés à la consommation moyenne observée pendant cette période. (ISA, 2005).

Tableau 3 : Le besoin journalier en acides aminés en période de production dépend du taux de ponte et de la croissance

Moyenne de consommation d'aliment après 28 semaines (g/j)	105	110	115	120	125
Protéine %	18,2	17,6	17,0	16,5	15,9
Acides aminés totaux %					
Lysine	0,90	0,85	0,82	0,78	0,75
Méthionine	0,45	0,43	0,41	0,39	0,38
Méthionine +cystine	0,72	0,69	0,66	0,63	0,60
Tryptophane	0,208	0,199	0,190	0,182	0,175
Thréonine	0,66	0,63	0,60	0,57	0,55
Isoleucine	0,80	0,76	0,73	0,70	0,67
Valine	0,86	0,82	0,78	0,75	0,72
Acides aminés digestibles %					
Lysine	0,80	0,76	0,73	0,70	0,67
Méthionine	0,42	0,40	0,39	0,37	0,35
Méthionine +cystine	0,65	0,62	0,59	0,57	0,55
Tryptophane	0,178	0,170	0,163	0,156	0,150
Thréonine	0,56	0,53	0,51	0,49	0,47
Isoleucine	0,72	0,69	0,66	0,63	0,61
Valine	0,77	0,74	0,71	0,68	0,65

Source : (INRA, 2002)

Compte tenu de la persistance de production, de la variabilité individuelle et du poids de l'œuf, les besoins quotidiens en acides aminés ne diminuent pas en cours de ponte. En fonction du contexte économique, il peut être intéressant de réduire légèrement les marges de sécurité. Cependant, les meilleurs résultats, en terme de productivité et en indice de consommation sont obtenus lorsque l'on maintient le niveau d'ingestion en acides aminés.

Toute déficience en acides aminés et quel qu'en soit le type, se traduit par une diminution des performances, dont les 2/3 sont dus à une réduction du taux de ponte et pour 1/3 à une réduction du poids moyen de l'œuf (ISA, 2005).

I.1.3 Alimentation minérale

I.1.3.1. Calcium

Parmi tous les ions minéraux, macro et oligo –éléments, le calcium doit être apporté en grande quantité à la poule lorsque assure la formation de sa coquille .la teneur de calcium dans l'aliment doit être au moins égale a 3.5p.100 pour obtenir des solides. En fin de ponte, lorsque la solidité de la coquille tend diminuer on peut réduire la concentration du calcium dans l'aliment et distribuer à volonté du calcium sous forme de coquilles d'huitres ou de granules de carbonate de calcium

Pour encore mieux satisfaire les besoin de l'animale certains auteurs ont suggéré l'alimentation calcique séparée. L'animal dispose alors d'un aliment de ponte qui renferme 1p.100 de calcium et d'une source concentrée de calcium .On constate que la consommation de calcium varie d'une part selon que la ponte est en pause ou en ponte (1,2 au lieu de 3.8g/jour), d'autre part en fonction de l'heure de la journée (plus élevée le soir avant l'extinction de la lumière que le matin).

En climat tempéré (20°C), les ingérés calcique et énergétique plus élevés avec l'alimentation calcique séparée, ont pour conséquences une amélioration de la solidité de la coquille et à un moindre degré une augmentation du poids moyen de l'œuf .En revanche, en climat chaud, ce mode d'alimentation présente de avantage évidents sur l'alimentation classique : les ingéré énergétique et calcique sont fortement augmentés. (**Larbier et Leclercq., 1989**)

La rétention du calcium dépend de la taille des particules utilisée. Les particules de moins de 1,5 mm sont très mal retenues dans le gésier et se retrouvent dans les fèces. Ceci conduit à une détérioration de la qualité de coquille.

- Environ 70 % du calcium alimentaire doit être présenté sous forme grossière. Ceci correspond à une incorporation de 65 kg de carbonate de Calcium particulaire par tonne d'aliment. Pour être retenu dans le gésier, ces particules doivent être comprise entre 2 et 4 mm de diamètre.

- Les 30 % restant seront apportés sous forme pulvérulente afin de reconstituer les réserves osseuses. (**INRA ,1989**)

Le poids de la coquille augmente avec l'âge. Pour cette raison, nous recommandons d'accroître la teneur en calcium à partir de 50 semaines d'âge. La qualité de la coquille dépend aussi de la solubilité du carbonate utilisé. Les sources trop solubles sont responsables de

mauvaises qualités de coquille. Un défaut d'apport en Phosphore conduit à une déminéralisation du squelette de la poule pouvant provoquer à long terme des fractures (syndrome de fatigue de cages). Pendant la calcification, une partie du calcium osseux est mobilisée entraînant la libération dans le sang d'ions Calcium et Phosphates. Ces derniers étant résorbés par les voies urinaires, les besoins en Phosphore dépendent de la sollicitation des réserves osseuses. Les besoins en phosphore dépendent par conséquent de la forme d'apport du Calcium et des techniques d'alimentation. En fin de ponte, un excès de Phosphore conduit à une détérioration de la qualité de coquille (ISA, 2005).

(ISA, 2007), ont étudié le ratio idéal entre particules fines et grossières qui doit être utilisé avec des poules rousses. Les meilleurs résultats ont été observés avec 60% de particules grossières.

Tableau4 : Effet du pourcentage de carbonate de calcium grossier (2-4 mm) sur les caractéristiques des coquilles

Pourcentage de Particules grossières utilisées%	Force de fracture N	Poids de coquille g	Poids de coquille g	Epaisseur de coquille µm
0	33.6	5.70	78.3	365
20	35.4	5.80	78.9	365
40	38.0	5.75	79.7	368
60	38.2	5.88	80.8	374
80	36.9	5.70	79.1	364
100	36.1	5.89	81.4	370

Source :(ISA ,2007)

I.1.3.2. Phosphore :

Comme pour le calcium, la part la plus importante du besoin en phosphore correspond à la production .En effet d'adulte à l'état d'entretien maintient son équilibre en phosphore grâce à la mise en place des mécanismes décrit précédemment .Les faibles besoins d'entretien sont alors satisfaits par l'énorme réserve osseuse et grâce à une phosphaturie très faible .Au contraire, le jeune en croissance et la femelle en pont doivent trouver dans leur alimentation les quantités nécessaires à leurs synthèses . Les quantités de phosphore contenues dans les productions sont dans le **Tableau 5**.

La carence en phosphore se traduit par une perte d'appétit, un ralentissement de la croissance, des troubles locomoteurs graves et de la mortalité.

Le besoin de la poule en phosphore est nettement moins élevé que le besoin en calcium. En effet, la coquille de l'œuf renferme du carbonate de calcium et très peu de phosphate. On peut exprimer ces cendres par rapport à la matière sèche ou la matière sèche

dégraissée de l'os. La teneur rapportée à la matière sèche chez le poulet est d'environ 35p.100 à l'âge de 1^{ère} semaine, d'environ 45p.100 à 7^{ème} semaine et de 50p.100 à l'âge adulte. (Larbier et Leclercq., 1989).

L'apport de phosphore pose toujours davantage de problème que celui du calcium, ne serait-ce que du fait du prix de matières premières. On retiendra comme première règle qu'il n'existe pratiquement pas de production d'animaux végétale par une source de P inorganique ; seuls des animaux adultes à l'entretien (coqs, truies) échappent à cette règle.

Le problème le plus souvent discuté est celui de l'utilisation du phosphore phytique présent dans les graines des végétaux (et non dans les tiges et feuilles) et qui représente couramment 60 à 70 p.100 du phosphore totale. Il est généralement considéré que ce phosphore phytique n'est que partiellement utilisé par les oiseaux ; pour ces derniers, l'habitude est donc de ne considérer comme disponible que le phosphore non-phytique, soit un tiers du phosphore total des graines.

Tableau 5: Composition minérale de l'œuf de poule (mg/g d'œuf)

	Totale	Coquille	Blanc	Jaune
Calcium	36	35.5	0.07	0.45
Phosphore	2	0.1	0.1	1.8
Magnésium	0.45		0.05	0.40
Sodium	1.2	0.10	0.88	0.21
Potassium	1.2		0.82	0.38
Chlore	1.4		0.93	0.47
Fer	38		5	33
Cuivre	1.7 à 6.0		0.5	1.0 à 5.5
Zinc	19 à 17		0.01	10 à 17
Manganèse	0.1 à 0.6		0.1	0.1 à 0.6
Iode	0.05 à 0.15			0.05 à 0.15
Sélénium	0.04 à 0.14			

Source : (Sauveur, 1992)

L'optimum économique d'une production peut ne pas correspondre à l'optimisation d'un critère technique. Les exemples les plus typiques fournis par l'alimentation phosphorée :

- ✚ Le gain de poids vif maximal d'un poulet est obtenu avec un apport de phosphore inférieure à celui qui est nécessaire pour assurer une résistance satisfaisante de l'os, lui-même inférieur à l'apport qui maximise la minéralisation osseuse. Poule de 1.5kg, il est inutile et antiéconomique de rechercher cette minéralisation maximale.

✚ Chez le poulet, l'apport de phosphore minimisant l'indice de consommation est supérieur doit la seule croissance, un raisonnement économique doit déterminer jusqu'ou l'apport de phosphore doit être augmenté. (**Couailler, 1989**)

I.1.3.3. Les autres minéraux

Les oligo-éléments sont des éléments présents à l'état de traces dans les tissus des animaux mais remplissant souvent des fonctions essentielle pour la vie et la croissance. (**Larbier et Leclercq., 1989**).

L'apport de chlore total doit être limité à 0,14 % du régime, équivalent à 0,23 % de chlorure de sodium. Le sodium manquant après cet apport peut être apporté sous forme de bicarbonate, de carbonate ou de sulfate à condition que ce dernier ne dépasse pas 0,25 % du régime. Les oligo-éléments et vitamines à ajouter systématiquement font l'objet du **Tableau 6**

Tableau 6: Maximales de certains éléments chimiques

Chlorure(CI)	500 ppm	Potassium (K)	500 ppm	Sulfates(So4)	1100 ppm
Sodium (Na)	500 ppm	Fer (Fe)	500 ppm	Nitrites (N02)	50 ppm
Magnésium(Mg)	200 ppm	Nitrates (N03)	5 ppm	Arsenic (As)	0,5 ppm

Source:(**ISA, 2005**)

I.1 .4 .Besoins vitaminiques

Les Besoins vitaminiques présentés dans le tableau suivant:

Tableau 7: Addition en vitamines pour les poules pondeuses

Vitamines	Besoin
Vitamine A (U.I.)	8000
Vitamine D (U.I.)	1000
Vitamine E (PPM)	5
Vitamine K3 (PPM)	2
riboflavine (PPM)	4
Pantothénate de Ca (PPM)	4
pyridoxine (PPM)	0
biotine (PPM)	0
Acide folique (PPM)	0
Vitamine B12 (PPM)	0.004
Chlorure de choline (PPM)	250

Source:(**INRA, 1991**)

Les oligo-éléments à ajouter systématiquement font l'objet du **Tableau 8**, les apports de vitamines sont majorés a fin d'assurer une parfaite exclusivité, le besoin de reproduction est en effet souvent plus élevé que celui de ponte.

Tableau 8 : Addition en Oligo-minéraux pour les poules pondeuses

Oligo-minéraux	Unité (ppm)
Fer	40
Cuivre	2
Zinc	40
Manganèse	60
Cobalt	0,2
Sélénium	0,15
Iode	0,18

Source : (INRA, 1991).

I.2. Abreuvement

L'eau est le principal constituant du corps des poulets (près de 75 % à l'éclosion et 55% à l'âge adulte) (Dayon et Arbelot., 1997). La présence d'eau propre et fraîche est d'importance primordiale pour l'absorption d'éléments nutritifs et l'élimination des matières toxiques. Les oiseaux régulent leur température corporelle par évaporation d'eau via le tractus respiratoire.

Une enquête réalisée en 2010 en élevage de poules pondeuses a permis de recueillir des références en termes de consommation d'eau. La consommation moyenne est de 192 ml/jour, avec peu de variation d'un élevage à l'autre. Cette valeur est à rapprocher de celle que l'on trouve dans le guide (ISA, 2000) : environ 200 ml/jour à 20 °C.

Le ratio eau/aliment est habituellement cite comme étant proche de 2. Dans la réalité, ce ratio dépend beaucoup de la température : plus il fait chaud, plus la poule va boire et moins elle va consommer d'aliment, entraînant de ce fait une augmentation de ce ratio.

CHAPITRE II: CALCIUM ET PHOSPHORE DANS L'ALIMENTATION DES VOLAILLES

II.1. Métabolisme phosphocalcique chez le poulet

2.1.1. Digestion

C'est la fonction qui transforme les aliments en nutriments, molécules directement assimilables. Cette transformation est liée à des sécrétions digestives et à la motricité du tube digestif. Les nutriments formés sont absorbés dans le sang ou la lymphe après passage à travers la muqueuse intestinale, c'est l'absorption (**Kolb, 1975**).

La nourriture, avalée par le bec qui est composé de deux parties : dorsalement, la maxille ou mandibule supérieure, ventralement la mandibule ou mandibule inférieure (**Alamargot, 1982**), traverse rapidement l'*oesophage* pour aboutir dans le *jabot*, qui sert principalement d'organe de stockage. A ce niveau, la nourriture est ramollie et acidifiée sous l'action de l'acide lactique produit par fermentation bactérienne (**Simons et al., 1997**). Au passage dans le *proventricule* via une courte section, elle est attaquée par des enzymes, particulièrement la pepsine, et subit une nouvelle acidification sous l'action de l'acide chlorhydrique (**Souilem et Gogny., 1994**).

Le *gésier* se trouve juste après le *proventricule* (**Figure 1**) ; il s'agit d'un organe musculaire puissant, qui réduit la nourriture en pulpe par des contractions rythmées.

Ce processus est facilité par la présence de gravillon insoluble. La nourriture passe ensuite dans l'anse duodénale, entourée du pancréas, qui sécrète les sucs pancréatiques dans le *duodénum*. Plus loin, deux canaux relient le foie à l'intestin grêle ; l'un d'eux provient de la vésicule biliaire où sont stockés les sels biliaires. La paroi du *duodénum* et de l'intestin grêle est convolutive et forme des saillies en forme de doigt (les villosités). Celles-ci augmentent la surface de l'intestin et favorisent ainsi l'absorption de la nourriture. Le transit des aliments dans l'intestin grêle est favorisé par des contractions péristaltiques régulières. C'est dans cette zone des viscères qu'a lieu l'essentiel de la digestion et de l'absorption. A la jonction de l'intestin grêle et du gros intestin se trouvent deux branches en cul-de-sac appelées poches caecales ou *caecum*, dont la fonction essentielle est de digérer les fibres et d'absorber l'eau (**Simons et al., 1997**).

CHAPITRE II: CALCIUM ET PHOSPHORE DANS L'ALIMENTATION DES VOLAILLES

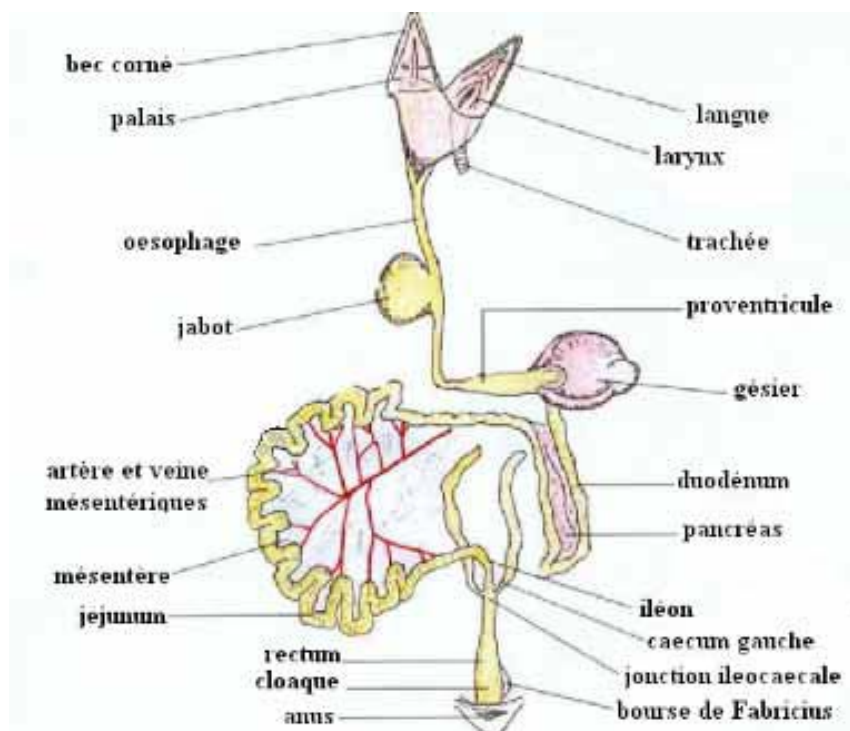


Figure 1 : Tractus digestif du poulet

Source : (Villate, 2001)

Ainsi, les composés phosphocalciques sont solubilisés dans le tube digestif, sous l'effet de l'acide chlorhydrique, qui transforme les sels de calcium (carbonates) en chlorure de calcium très soluble et les phosphates bi et tricalciques en phosphates mono-calciques (Nickel et al., 1977). La bile joue un rôle important, en libérant l'acide ortho phosphorique qui transforme les sels de calcium insolubles en phosphates mono-calciques solubles. Elle sécrète aussi des phosphatases qui permettent la formation des phosphates mono-calciques.

II.1.2. Absorption

a) Lieu d'absorption

D'après (Larbier et Leclercq., 1992), l'essentiel de l'absorption du calcium a lieu au niveau du *duodénum* et du *jejunum*. Chez le poulet, le rat, le chien et le mouton, le phosphore est absorbé essentiellement au niveau du *jejunum*, l'absorption étant beaucoup plus faible au niveau de l'iléon, et du *duodénum*, pour devenir négligeable dans le gros intestin (Ghishan, 1992). La $1,25 - (\text{OH})_2 \text{D}_3$ ou 1,25- dihydroxycholécalférol stimule aussi son absorption.

b) Mécanisme de transport

Tout comme la majeure partie des minéraux, le phosphore peut franchir la barrière intestinale selon un processus passif ou actif, en fonction de la concentration luminale en phosphore à ce niveau (Barlet et al., 1995). Aussi, le profil du pH de l'intestin grêle fait

CHAPITRE II: CALCIUM ET PHOSPHORE DANS L'ALIMENTATION DES VOLAILLES

qu'une diffusion passive des ions phosphate a lieu au niveau du duodénum proximal où le pH acide est légèrement supérieur à 4. Au contraire, au niveau du *jéjunum* et de l'*iléon* où le pH = 7,5, l'absorption des ions HPO_3^- représentant 80 p.100 du phosphate ionisé se fait activement (Cross et al., 1990). Il en est de même pour le calcium, qui est absorbé de manière active au niveau du duodénum et de manière passive dans le *jéjunum*. L'ion calcium (Ca^{2+}) est lié à une protéine complexe appelée protéine de WASSERMAN ou le CaBP (Calcium Binding Protéine) dont la synthèse dépend d'un dérivé actif de la vitamine D, la 1,25 - (OH) $_2$ D $_3$. Cette vitamine intervient aussi dans l'absorption du phosphore (Figure 2). Le problème le plus souvent discuté est celui de l'utilisation du phosphore phytique présent dans les graines de céréales. Il est généralement considéré que ce phosphore n'est que partiellement utilisé par les porcs et pas du tout par les oiseaux (INRA, 1991).

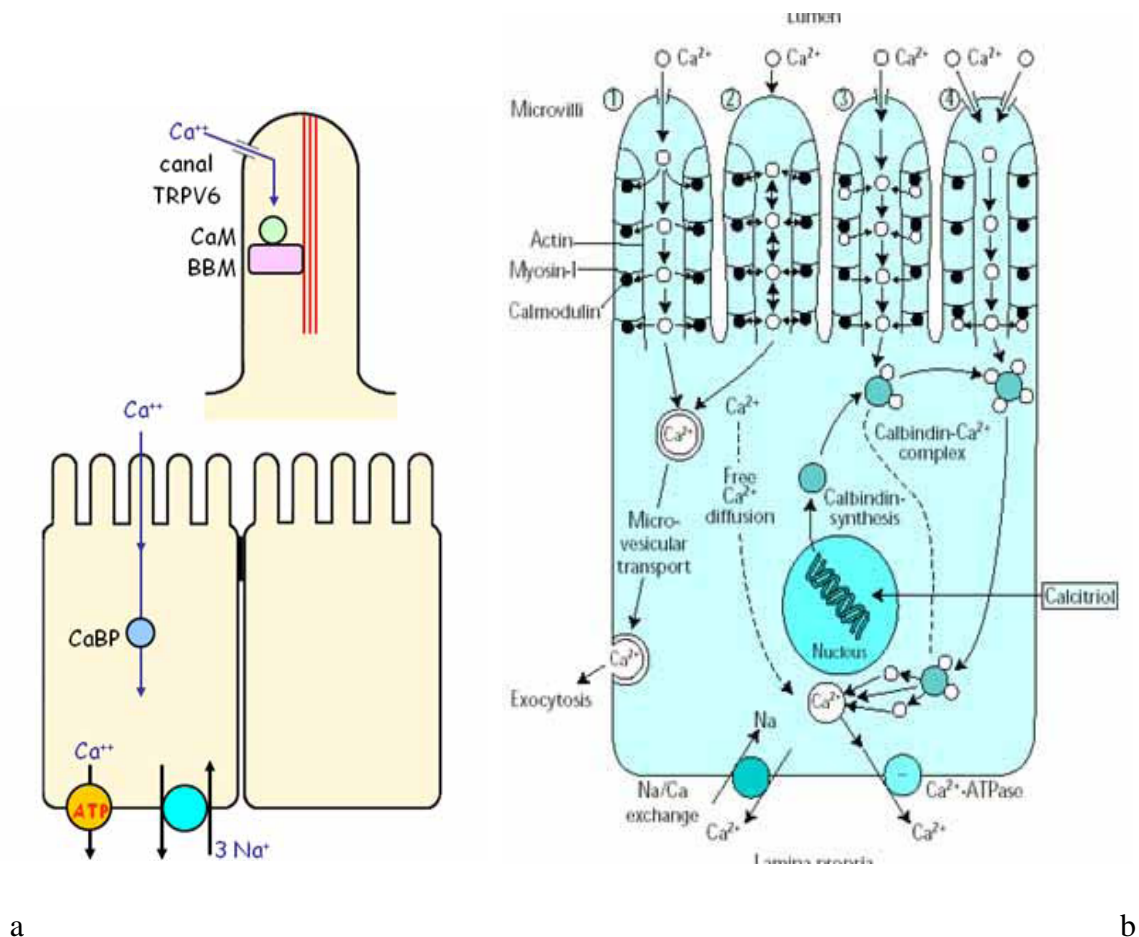


Figure 2: Etapes de l'absorption intestinale du calcium

c) Digestibilité du phosphore végétal

Les mesures de la digestibilité correspondent, chez le porc, à des mesures des excréments fécaux de phosphore déduites du phosphore ingéré. Ces mesures n'étant pas réalisables chez

CHAPITRE II: CALCIUM ET PHOSPHORE DANS L'ALIMENTATION DES VOLAILLES

les volailles (fèces et urine mélangés), (**Pointillart ,1994**) propose des mesures, soit de la rétention (ingéré (I) - excrété total, urine (U) + fèces (F)), soit la mesure de la disponibilité, en évaluant la minéralisation osseuse (contenu en cendres ou résistance à la rupture d'un os type).Le pourcentage de rétention se détermine de la manière suivante (**Schöner et al., 1993**) (**Perney et al., 1993**)

$$\text{Pourcentage de rétention} = \frac{I - (F + U)}{I} \times 100$$

Les mesures de biodisponibilité chez les volailles sont plus fiables que chez le porc du fait des possibilités de disposer de beaucoup plus grands effectifs d'animaux. Le très bon phosphate n'étant pas absorbé à 100 p.100 mais à 80 p.100 environ (**Pointillart, 1994**), il est donc important de voir les facteurs pouvant influencer la disponibilité du phosphore surtout, celui contenu dans les céréales.

d) Facteurs de variation de l'absorption du phosphore

Les facteurs de variation de l'absorption du phosphore sont :

d.1. Facteurs liés à l'animal

- **l'âge de l'animal** : selon (**Larbier et Leclercq., 1992**) l'adulte à l'état d'entretien maintient son équilibre en phosphore grâce à la mise en place des mécanismes de régulation, alors que le jeune en croissance qui a d'énormes besoins doit trouver dans son aliment les quantités nécessaires. Il en résulte une meilleure rétention de P chez les jeunes animaux en pleine croissance.
- **l'état du tube digestif** : dans le cas des syndromes de malabsorption digestive observés dans les stéatorrhées et diarrhées chroniques, on a une diminution de l'absorption intestinale de phosphore (**Paillard et Paillard., 1992**).
- **la valeur du pH** : la valeur du pH de l'intestin influence la disponibilité du phosphore et donc son absorption. La valeur du pH d'inflexion a été fixée afin de rendre compte d'une solubilité des phytates de 90 p.100 à pH 5 (**Grynspan et Cheryan., 1983**).
- **l'état physiologique de l'animale** : les besoins en phosphore d'une femelle en ponte sont assez importants. Néanmoins, les besoins en phosphore des poules pondeuses diminuent avec le stade de production (**Sauveur ,1992**).

d.2. Facteurs liés à la ration

Une carence en vitamine D contribue à une diminution de l'utilisation du phosphore. Cependant, l'absorption augmente proportionnellement à la teneur en vitamine D de l'aliment. En effet, l'amélioration de la digestibilité du phosphore végétal, obtenue avec des doses croissantes de vitamine D a conduit à une augmentation parallèle de la rétention de P (**Pointillart et al., 1989**) ; une diminution de l'absorption intestinale de calcium et magnésium contribuent à une diminution de l'utilisation du phosphore ; le rapport phosphocalcique de la ration : un rapport trop faible se traduit par une mauvaise absorption du phosphore. Le rapport calcium phosphore phytique (**Letourneau-Montminy et al., 2006**), stipulent qu'à partir d'une valeur de 1,7 l'augmentation du rapport Calcium/Phosphore Phytique de 0,1 point conduit à une diminution de la digestibilité de P de 0,5 unité.

d.3. Facteurs liés à la source de phosphore

Nous allons considérer les deux sources majeures de phosphore : le phosphore inorganique et le phosphore phytique.

d.3.1. Les phosphates inorganiques

Ces facteurs sont propres à la nature du produit.

- **La finesse des particules** : (**Mabalo, 1993**), en employant cinq degrés de mouture pour le phosphate tricalcique arrivent à la conclusion que les produits finement divisés et amorphes sont en général plus solubles que les produits grossiers et cristallisés ;
- **La forme chimique et le degré de polymérisation** : on remarque que, quelle que soit l'espèce animale, les ortho phosphates purs sont très bien utilisés. Cependant, les méta-phosphates et les formes polymérisées (pyrophosphates) ont une valeur alimentaire très inférieure par la faible digestibilité et mauvaise rétention du phosphore absorbé (**Thiongane, 1982**) (**Tableau 9**).
- **La forme cristalline** : elle influence la digestibilité du phosphore au sein des groupes ortho, Méta ou pyrophosphates. Les différences observées entre les phosphates bicalciques, anhydriques et hydratés seraient vraisemblablement dues à une solubilité moindre de la forme anhydre (**Mabalo, 1993**).

d.3.2. Phosphore phytique

L'utilisation du phosphore phytique varie d'une espèce à une autre et est fonction de :

- ✓ **Sa forme chimique initiale** : le phosphore stocké dans les principales matières premières d'origine végétale utilisées dans l'alimentation des volailles est présente majoritairement (50-85 p.100) sous forme phytique (**Tran et Skiba., 2005**). La

CHAPITRE II: CALCIUM ET PHOSPHORE DANS L'ALIMENTATION DES VOLAILLES

molécule d'acide phytique contient jusqu'à 6 groupements de phosphate qui peuvent interagir avec divers cations (Ca, Mg, K, Zn ...) et des protéines formant des complexes appelés phytates (Narcy *et al.*, 2009). pour (Erdman, 1979), la stabilité des phytates et leur affinité pour les actions varient ainsi $Fe < Ca < Mn < Co < Cu < Zn$. Pour (Sauveur, 1989), la stabilité du sel formé avec les cations divalents est dans l'ordre suivant $Cu^{2+} > Zn^{2+} > Mn^{2+} > Fe^{2+} > Ca^{2+}$. Les phytates naturels sont des phytates de Mg^{2+} et K^+ , solubles mais déplacés par les autres cations Ca, Zn, et Fe. Une molécule d'acide phytique capte en moyenne 3 à 6 moles de Ca pour former des phytates insolubles au pH intestinal, rendant indisponible et le phosphore et le calcium (Pointillart, 1994).

- ✓ **La présence de phytase ou de l'activité phytasique** : L'enzyme responsable de l'hydrolyse des phytates est la phytase. Elle permet de libérer les ortho-phosphates et l'inositol. La digestibilité de l'acide phytique dépend à la fois de sa solubilité et de l'activité des phytases présentes, particulièrement, élevée pour le blé, le seigle et l'orge. La disponibilité de phosphore de ces trois graines pour la minéralisation osseuse des volailles est toujours supérieure à 50 p.100 alors qu'elle est inférieure à 20 p.100 dans le cas du maïs et du tourteau de soja (Sauveur, 1989). Les monogastriques à la différence des ruminants ne dispose pas de la phytase. Alors, la supplémentation en phytases microbienne ou fongique disponibles dans le commerce, de régimes alimentaires porcins et avicoles donnent comme résultat l'augmentation de la digestibilité/disponibilité de P (Kempe *et al.*, 1996).
- ✓ **Des traitements subis par les matières premières** : la chaleur qui résulte de la granulation que subissent les matières premières entrant dans l'alimentation des animaux inactive la phytase. En effet, l'inactivation par la chaleur prend de l'importance (50 p.100) à partir de 70 °C, elle est de 90 p.100 vers 72 °C pour la phytase du blé (Courtois, 1947).

CHAPITRE II: CALCIUM ET PHOSPHORE DANS L'ALIMENTATION DES VOLAILLES

Tableau 9: Valeur biologique comparée des phosphates inorganiques en phosphore (%)

	Volailles		Porcs	
	Moyenne	Extrêmes	Valeur biologique comparée	CUDr (p.100) chez Adulte
Produits				
Phosphate mono-calcique	100		100	60-70
Phosphate bicalcique anhydre	85	80-87	-	< 60
Phosphate bicalcique dihydraté	93	85-98	90 (70-98)	60-65
Phosphate mono-bicalcique	95	90-100	-	60-70
Phosphate tricalcique	85	80-100	-	50-60
Phosphate mono ou bi-potassique	98		-	70-80
Phosphate mono ou bi-sodique	98	95-100	100	70-80
Tri polyphosphate de sodium	92		-	60-70
Phosphate mono-di-ammonique	-		95	70-80
Acide phosphorique	-		100	80
Phosphate Ca-Mg-Na	98		-	60-70
Produits naturels				
Phosphate de roche naturel	60	40-80	-	20-50
Phosphate de roche défluoré	85	80-95	90	-
Farine d'os dégelatinée	85	80-95	80 (60-95)	50-55

Source : (INRA, 1991)

II.1.3. Distribution et rôle du calcium et du phosphore dans l'organisme

II.1.3.1- Calcium

Le calcium est le minéral le plus abondant au sein de l'organisme. En effet, la majeure partie du calcium (99 p.100) se trouve concentrée dans l'os sous forme d'hydroxyapatite ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$), de phosphates et carbonates de calcium non cristallins. Outre sa localisation dans les os, le calcium se retrouve aussi dans le sang.

Le taux sanguin de calcium est régulé par la calcitonine et la parathormone, l'absorption n'a lieu qu'en présence de vitamine D et l'excédent est excrété dans les fèces et l'urine (**Tortora et Grabowski., 2002**). Selon (**Wolter, 1974**), le calcium plasmatique ou calcium extracellulaire se trouve sous trois formes :

- le calcium non diffusible, non ultra filtrable, lié à des protéines surtout à l'albumine, le CaBP (Calcium Protéin Binding) et intracellulaire (calmoduline). Cette fraction reste dans le compartiment vasculaire et constitue une réserve de première urgence.
- le calcium combiné, sous forme de complexes de citrates, carbonatés ou phosphatés ;
- le calcium ionisé ou ultra filtrable, qui représente environ 60 p.100 du calcium total. c'est la fraction biologiquement active, qui intervient dans l'excitabilité neuromusculaire, et comme cofacteur dans de nombreuses réactions. Aussi, avons-

CHAPITRE II: CALCIUM ET PHOSPHORE DANS L'ALIMENTATION DES VOLAILLES

nous le calcium dans les espaces interstitiels et d'autres liquides extracellulaires comme le liquide céphalo-rachidien (LCR), la lymphe. La pénétration intracellulaire du calcium et sa répartition entre cytoplasme et mitochondrie est sous dépendance hormonale (PTH-vit D). L'importance du calcium dans l'organisme est capitale. En plus de son implication dans la formation des os, il intervient dans la régulation de nombreuses fonctions cellulaires telles que les fonctions nerveuse, musculaire et hormonale; en outre, il assure une fonction primordiale dans la coagulation du sang (Larbier et Leclercq., 1992).

II.1.3.2. Phosphore

Environ 80 p.100 du phosphore de l'organisme se trouve dans les os et les dents et est à l'état de cristaux d'hydroxyapatite. On le retrouve aussi dans le sang sous deux formes : le phosphore organique et le phosphore inorganique.

Le phosphore organique est prédominant à l'intérieur des globules rouges et rentre dans la constitution de molécules de grand intérêt biologique : acides nucléiques et nucléotides, phospholipides membranaires. C'est ce phosphore qui intervient dans les mécanismes fonctionnels de l'organisme (Regnier, 1976). Il en découle, (Ferrando, 1964) « *chaque fois qu'il y a dans l'organisme une 'molécule dynamique', c'est-à-dire, une molécule intervenant activement dans le processus du métabolisme, cette molécule renferme le phosphore* ».

- **Le phosphore inorganique**

C'est le phosphore qui est dosé dans le sérum, son taux sanguin est moins fixe. Les principales formes sont : HPO_4^{2-} , H_2PO_4^- , NaHPO_4 auxquelles s'ajoute le phosphore lié aux autres minéraux et protéines. En dehors de ces principales localisations, le phosphore se trouve dans les tissus mous où il représente environ 15 p. 100 du phosphore total de l'organisme (Regnier, 1976).

Associé généralement au calcium, ces deux molécules jouent deux rôles fondamentaux : le rôle plastique dans l'édification du squelette et le rôle métabolique.

Le phosphore entre dans la minéralisation des os. Ces formes inorganiques, constituent les principaux systèmes tampon du sang, il intervient dans la contraction des muscles et l'activité nerveuse (Tortora et Grabowski., 2002). A l'intérieur des cellules, de nombreuses réactions de phosphorylation de protéines ou de nucléotides sont à la base du transport de l'énergie (ATP) et la transmission du message hormonal de l'extérieur (récepteurs) vers l'intérieur des cellules (Larbier et Leclercq., 1992).

II.1.4. Rétention et rejet de phosphore et de calcium

II.1.4.1. Rétention du phosphore et du calcium

Une approche graphique (**Figure 3**) montre l'existence d'un lien global relativement faible et négatif entre la teneur en P de l'aliment et la rétention apparente de P chez le poulet de chair (**Lescoat et al., 2005**). Ce graphique souligne surtout la grande variabilité de ce critère, entre 15 et 80 p.100. La rétention du phosphore des aliments non supplémentés en phosphore minéral varie de 20 à 60 p.100 du fait de la présence de phytase végétale dans certaines matières premières (**Sauveur, 1989**). Ainsi, l'ensemble des valeurs de rétention apparente du P inférieures à 20 p.100 observées sur la figure 3 sont liées à la présence de phosphore phytique comme unique source de P et à l'utilisation de céréales sans phytase végétale active dans des essais de rétention de très courte durée. Le phosphate absorbé en provenance du son de blé est moins bien retenu que le phosphate disodique. Environ, 20 p. 100 de la quantité de ^{32}P (un radio-isotope du phosphore) absorbé est éliminé dans les urines dans le cas du phosphate disodique contre 35 à 50 p. 100 dans le cas du son de blé (**Gueguen et al., 1968**).

L'effet le plus important sur la rétention du P résulte de l'introduction dans l'aliment de phytases microbiennes (**Lescoat et al., 2005**) (**Tableau 10**). Chez les poulets de ponte, la rétention est plus faible les jours de la formation d'un œuf qu'en l'absence de celle-ci (**NYS, 1979**).

Pour ce qui est du calcium, sa rétention est surtout liée à la concentration de calcium dans l'aliment. En effet, selon (**Larbier et Leclercq., 1992**), plus l'aliment n'est riche en calcium, moins efficace est la rétention. Ce phénomène est dû probablement à la saturation du système de transport de la CaBP. Cette rétention est maximale, lorsque la teneur de calcium dans l'aliment avoisine 1 p.100. La teneur en phytate de la ration et la carence en Vit D3 peuvent aussi influencer sur la rétention.

CHAPITRE II: CALCIUM ET PHOSPHORE DANS L'ALIMENTATION DES VOLAILLES

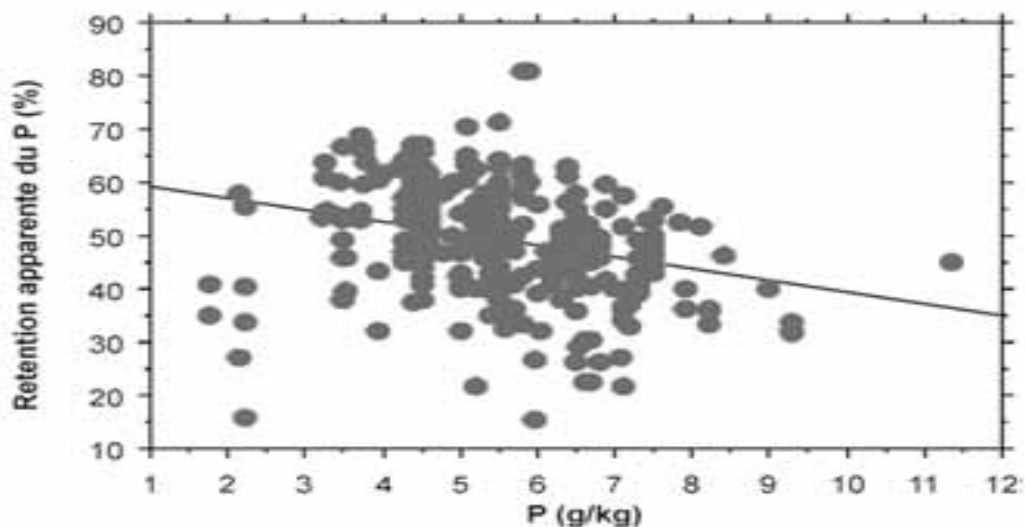


Figure3: Relation entre la teneur en P (g/kg) de l'aliment et la rétention apparente de P (%)

Source : (Lescoat *et al.*, 2005)

Tableau 10: Influence du niveau d'activité phytasique sur la rétention de P chez le poulet

Activité phytasique (FTU/kg)	N	Rétention P (%) (Ecart-type)
Moins de 70	90	45,3 ± 0,9 a
De 150 à 300	9	49,2 ± 3,1 ab
De 400 à 600	83	50,1 ± 1 b
De 650 à 800	16	53,6 ± 2,6 bc
Plus de 1000	17	57,5 ± 2,5 c

Les lettres soulignent une différence significative pour $P < 0,05$

Tableau 11 : Influence du niveau d'activité phytasique sur la rétention apparente du phosphore phytique chez le poulet

Activité phytasique (FTU/kg)	N	Rétention PP (%) (Ecart-type)
Nulle	49	36,6 ± 1,9 a
De 100 à 400	3	47,9 ± 2,9 ab
600	47	60,8 ± 1,9 bc
De 750 à 12000	5	75,4 ± 6,5 d

Les lettres soulignent une différence significative pour $P < 0,05$

Source : (Lescoat *et al.*, 2005)

II.1.4.2. Excrétion du phosphore et du calcium

La voie fécale est la principale voie d'élimination du calcium et du phosphore. Le calcium fécal a deux origines : le calcium alimentaire non absorbé et le calcium endogène provenant du métabolisme. La teneur en P des fientes dépend directement de celle de l'aliment chez les poulets de chair selon (Lescoat *et al.*, 2005). D'autres voies de pertes sont également associées à la précédente. Ce sont : les pertes par les urines, les pertes par la production (vers le fœtus, la formation des coquilles). On note aussi une perte par la sueur

CHAPITRE II: CALCIUM ET PHOSPHORE DANS L'ALIMENTATION DES VOLAILLES

(cheval), et la salive (les ruminants). Cette excrétion est régie par une régulation vitaminique et hormonale du calcium et du phosphore.

II.1.5. Régulation du métabolisme phosphocalcique

Le dépôt ou la mobilisation du calcium et du phosphore en relation avec la variation de leur niveau plasmatique, est assuré par l'action combinée de trois hormones différentes qui agissent sur l'os, le rein et l'intestin. Ces hormones sont :

- l'hormone parathyroïdienne (parathormone ou PTH) ;
- la vitamine D ;
- la calcitonine.

II.1.5.1. Rôle de la parathormone

La parathormone(PTH) est sécrétée par les cellules principales de la glande parathyroïdienne.

C'est un polypeptide de 84 aminoacides et d'un poids moléculaire de 9500 kDa. La PTH agit au niveau des os, du rein et de l'intestin. Son action a pour but d'augmenter la calcémie et de diminuer la phosphorémie. En cas d'hypocalcémie, la concentration sanguine de PTH s'élève et exerce un effet biphasique sur le métabolisme osseux.

Initialement, on observe une baisse rapide du calcium contenu dans le pool échangeable de calcium situé à la surface de l'os, liée à une action conjointe de la PTH et de la vitamine D. A long terme (heures et jours), des concentrations élevées de PTH, stimulent la résorption de l'os stable par les ostéoclastes, ce qui apporte une grande quantité supplémentaire de calcium au milieu extracellulaire (**Pocock et Richards., 2004**). La PTH stimule la réabsorption du calcium dans le tubule distal et décroît celle du phosphate dans le tubule proximal. La PTH n'a pas une action directe au niveau de l'intestin, elle stimule la production rénale de 1,25 dihydroxycholécalférol qui augmente l'absorption intestinale du calcium alimentaire (**Figure 4**). L'hypercalcémie exerce les effets inverses sur la PTH. De plus, elle provoque la sécrétion de calcitonine (CT), hormone peptidique d'origine thyroïdienne.

Aussi, la phosphatémie est peu modifiée par cette hormone, puisqu'il ya superposition d'un effet hyperphosphatémiant (mobilisation osseuse) et d'un effet hypophosphatémiant (excrétion urinaire) (**Larbier et Leclercq., 1992**).

II.1.5.2. Rôle de la vitamine D

La vitamine D ou cholécalférol constitue le précurseur d'un groupe de stéroïdes à action hormone. Elle joue un rôle essentiel dans la régulation de la calcémie. La vitamine D

CHAPITRE II: CALCIUM ET PHOSPHORE DANS L'ALIMENTATION DES VOLAILLES

n'est pas elle-même biologiquement active, mais doit subir des réactions d'hydroxylation pour former des hormones actives. Une première a lieu dans le foie et donne naissance au 25 cholécalciférol (forme circulante majeure de la vitamine D dans le sang) et une deuxième se produit dans le rein, donnant naissance au 1,25- dihydroxycholécalciférol (calcitriol), le composé actif. La principale action de cette hormone est de stimuler l'absorption intestinale du calcium ingéré. Cette action s'exerce par un effet direct sur la muqueuse de l'intestin. L'hormone se fixe à des récepteurs nucléaires spécifiques qui augmentent le taux de synthèse des protéines de transport (calcium-binding protéin) dont l'on considère qu'elles permettent au calcium de traverser la cellule intestinale. La 1,25-dihydroxycholécalciférol augmente également l'absorption de phosphate.

Les actions de la vitamine D sur l'os sont assez mal comprises. Elle stimule la calcification de la matrice de l'os. Une partie de cet effet semble s'expliquer indirectement par l'augmentation des concentrations plasmatiques de calcium et de phosphate, mais la vitamine semble aussi stimuler directement l'activité des ostéoblastes et des ostéoclastes. Ces actions combinent leur effet pour faciliter le remodelage de l'os (**Pocock et Richards., 2004**).

Au niveau rénal, la 1,25 dihydroxycholécalciférol favorise la réabsorption du calcium et du phosphore. Elle est donc une hormone hypercalcémiant et hyperphosphatémiant.

2.2.5.3. Rôle de la calcitonine

La calcitonine est une hormone peptidique sécrétée par les cellules parafolliculaires (cellule C) de la thyroïde. La principale action de cette hormone est d'inhiber l'activité des ostéoclastes (inhibe l'ostéolyse). La résorption osseuse est ainsi diminuée, et le contenu minéral osseux est moins libéré dans le plasma. Des récepteurs à la calcitonine sont situés dans les cellules du rein, et elle entraîne une augmentation transitoire des taux d'excrétion de calcium, de phosphate mais aussi, de sodium, de potassium et de magnésium (**Figure 5**).

NB : d'autres hormones comme la prostaglandine, peuvent aussi intervenir secondairement dans le métabolisme calcique de même que l'oestradiol et la testostérone (effet synergie) chez la poule pondeuse. Ces hormones stéroïdes stimulent l'absorption du calcium et augmente la teneur du plasma en 1,25- dihydroxycholécalciférol (**Larbier et Lerclercq., 1992**).

CHAPITRE II: CALCIUM ET PHOSPHORE DANS L'ALIMENTATION DES VOLAILLES

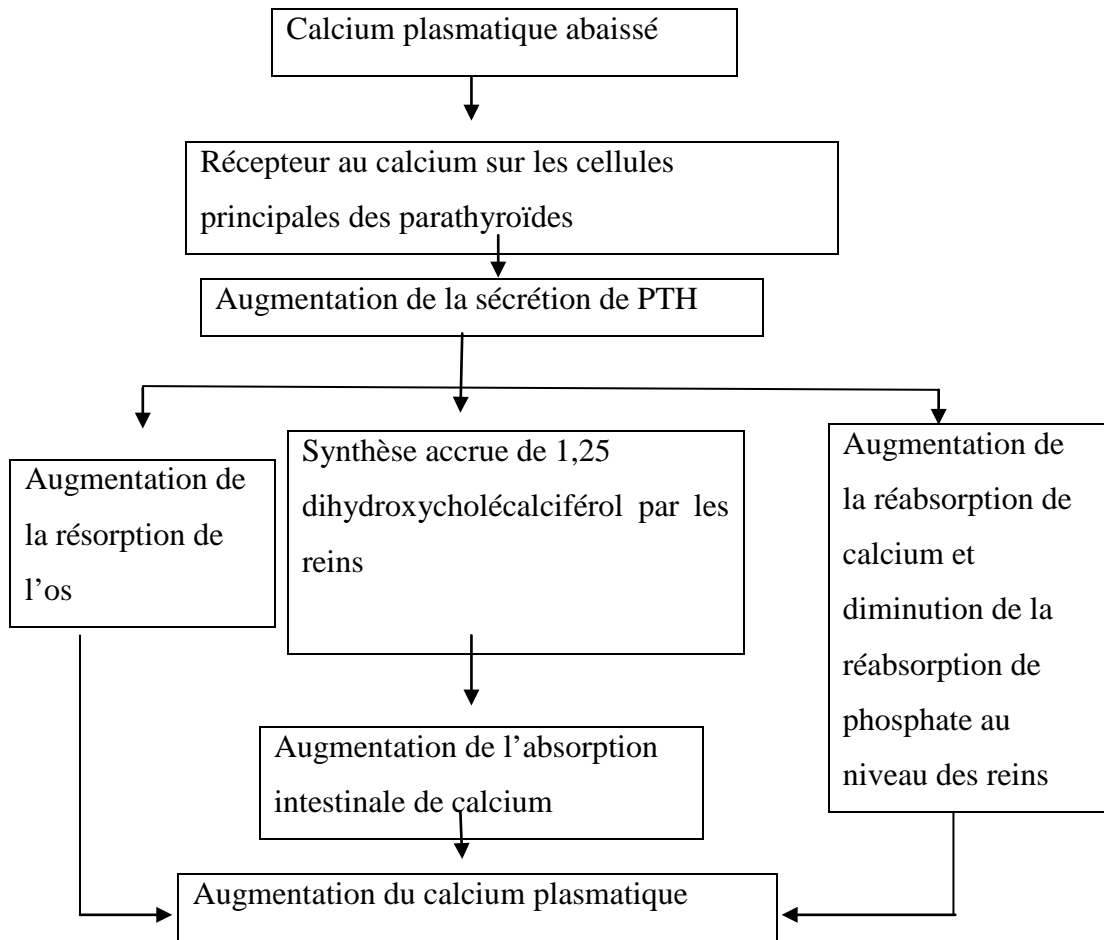


Figure 4: Diagramme schématisant les principales actions de la parathormone (PTH)
(Pocock et Richards., 2004)

CHAPITRE II: CALCIUM ET PHOSPHORE DANS L'ALIMENTATION DES VOLAILLES

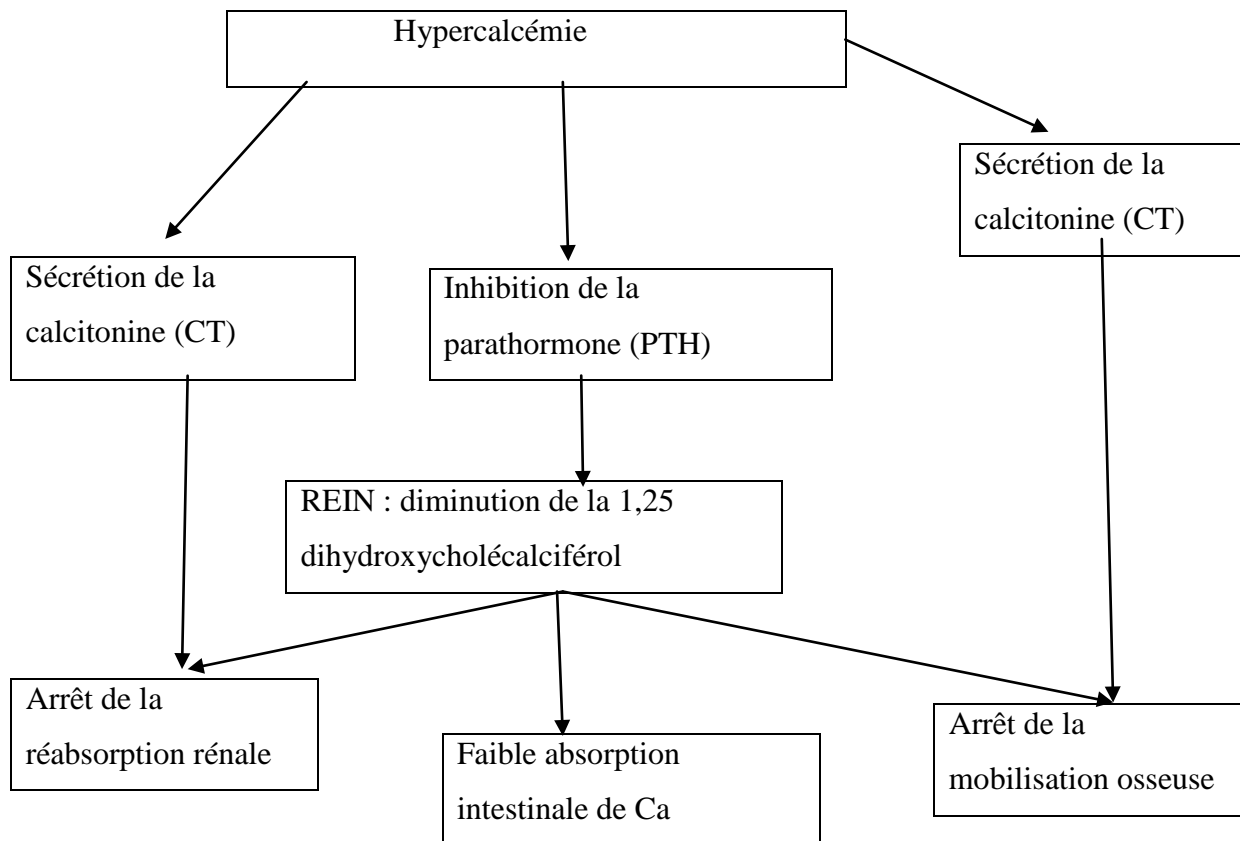


Figure 5: Régulation du métabolisme calcique en cas d'hypercalcémie (**Larrier et Lerclercq., 1992**)

II.2. Différentes sources de calcium et de phosphore dans la ration des poulets

Le calcium et le phosphore utilisés dans l'alimentation des animaux en général et des volailles en particulier sont d'origines diverses. On les trouve dans les végétaux (céréales), dans les produits animaux et les produits d'extraction minière.

II.2.1. Origine végétale

II.2.1.1. Calcium et phosphore disponible

Selon (**Ferrando, 1964**), les tourteaux, les grains, les graines, les issues de céréales sont beaucoup plus riches en phosphore qu'en calcium à l'inverse des fourrages. Le phosphore phytique représente entre 60 p.100 et 80 p.100 du phosphore total des végétaux et n'est pas utilisable par les monogastriques comme source unique de phosphore (**Perez et al., 2002**). La disponibilité du phosphore est toujours supérieure à 50 p.100 dans le blé (**Sauveur, 1989**). Cette disponibilité varie de 50 à 90 p.100 selon les variétés. Elle est inférieure à 20 p.100 (souvent nulle) dans le maïs et moins de 30 p.100 dans les protéagineux (pois, lupin, féverole) du fait des facteurs variétaux, culturaux, et technologiques sur l'activité phytasique de différentes céréales (**Tran et Skiba., 2005**). Tout comme toutes les céréales, le maïs est

CHAPITRE II: CALCIUM ET PHOSPHORE DANS L'ALIMENTATION DES VOLAILLES

presque dépourvu de calcium avec 0,02 p.100 de la matière sèche (Anselme, 1987) (Tableau12).

Tableau12 : Composition en calcium et phosphore de quelques matières premières

Matières premières	Matière sèche (MS)	Calcium (p.100 de MS)	Phosphore assimilable (% MS)
Maïs	86	0,02	0,28
Sorgho	88	0,05	0,34
Mil	89	0,05	0,32
Son de blé	88	0,1	1,04
Son de riz	94	0,07	1,5
Farine de cône	86	0,15	1,02
Tourteau d'arachide	91,6	0,18	0,12
Tourteau de coton	90,4	0,15	0,97
Farine de poisson	92	5,5	3,1
Coquillage	-	31,7	-
Poudre d'os	-	21	10
Farine de viande	93	8,29	3,23
Farine de sang	90	0,33	0,24
Levure	92	0,38	1,10

Source : (Anselme, 1987)

2.3.1.2. Phosphore phytique : acide phytique et phytate

a) Définition

L'acide phytique ou acide myo-inositol hexaphosphorique est une biomolécule de formule brute $C_6H_{18}O_{24}P_6$ (Figures 6 et 7). C'est un produit de l'estérification d'un polyalcool cyclique (myo-inositol) par l'acide phosphorique (Weil et al., 1990). Elle est naturellement présente dans les graines de nombreuses céréales et légumineuses, en général sous la forme de sel de calcium ou de magnésium. L'acide phytique est un facteur antinutritionnel qui diminue, voire inhibe l'absorption de divers cations (Zn, Cu, Co, Mn, Ca, Fe) en formant des sels insolubles (phytates).

CHAPITRE II: CALCIUM ET PHOSPHORE DANS L'ALIMENTATION DES VOLAILLES

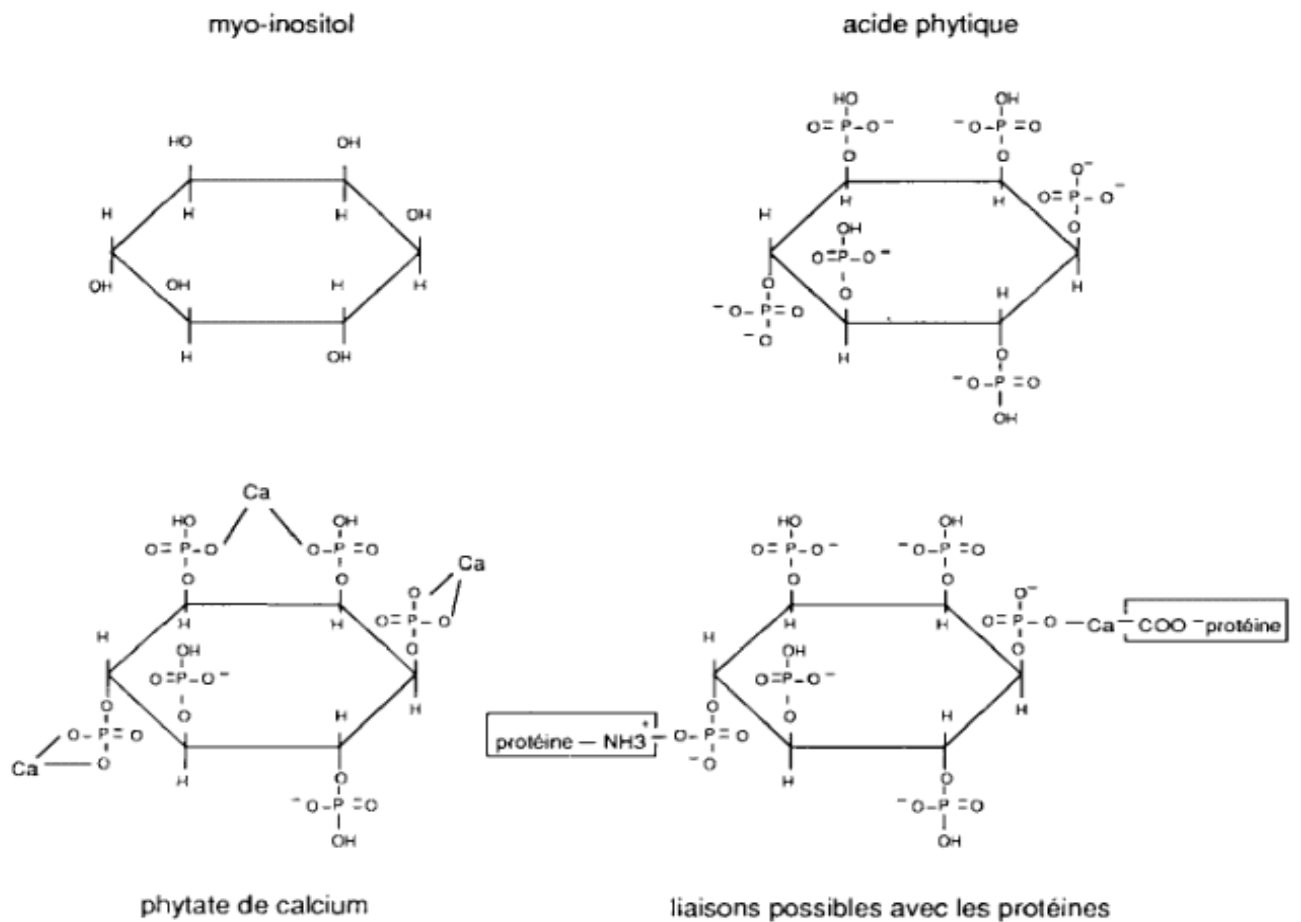


Figure 6: Structure chimique du myo inositol, de l'acide phytique et des phytates

Source : (Sauveur, 1989)

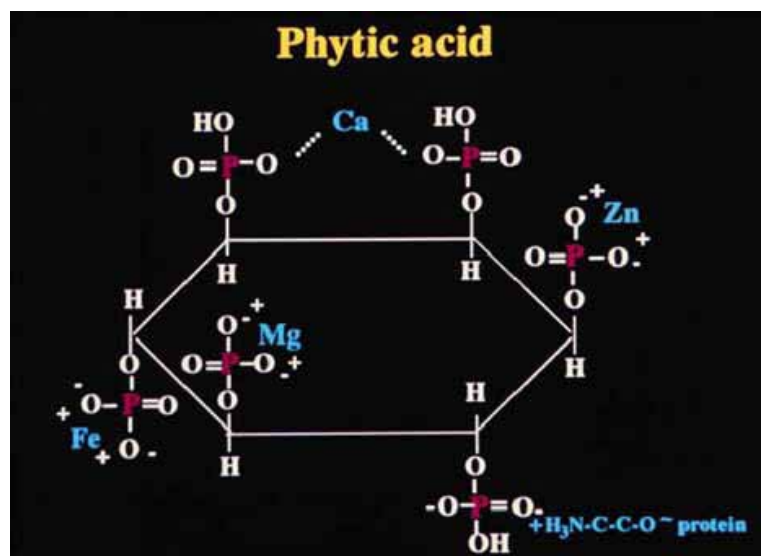


Figure 7: Structure de l'acide phytique

Source : (Sauveur b, 1993)

CHAPITRE II: CALCIUM ET PHOSPHORE DANS L'ALIMENTATION DES VOLAILLES

b) Aspect physico-chimique

L'acide phytique ou acide myo-inositol hexa-phosphorique (IP6) est un composé d'un radical-inositol estérifié par 6 radicaux de phosphate eux-mêmes impliqués dans des liaisons avec des cations. La déphosphorylation de l'acide phytique (IP6) aboutit à l'inositol -5 phosphate (IP5), -4 phosphate (IP4), -3 (IP3), -2 (IP2), -1 phosphate (IP1).

Les 3 derniers produits étant susceptibles de passer la barrière intestinale. Dans les graines, l'acide phytique est généralement sous forme IP6 (**Pointillart, 1994**).

(**Pointillart, 1994**) donne la répartition des différents inositol-phosphates dans quelques matières premières (**Tableau 13**).

Tableau 13: Répartition des différents inositol-phosphates dans quelques matières premières rapportées à sa matière sèche en g/Kg. (IP : Inositol Phosphate)

	Phosphore phytique total	IP6	IP4 + IP5	Autre IP en %Phytique total
Blé	3,1	2,3	0,3	16
Remoulage de blé	9,7	8,9	1,1	-
Maïs	2,4	2,1	0,3	-
Pois	2,6	1,9	0,3	16
Maïs gluten-feed	5,9	4,9	1,0	-
Soja broyé	4,2	3,6	0,3	7

Source :(**Pointillart, 1994**)

c) Localisation des phytates

Dans les céréales, l'acide phytique est associé à des structures particulières du grain.

Dans le riz et le blé, il est présent dans le germe mais avant tout dans les enveloppes (péricarpe, testa et aleurone), les principaux sites d'accumulation étant les grains d'aleurone. Pour le maïs, il est essentiellement dans le germe. Pour les légumineuses (dicotylédones), l'acide phytique est dans les cotylédons, associé dans les corps protéiques à des inclusions appelés globoïdes (**Pointillart, 1994**). (**Pointillart, 1994**) donnent la localisation de l'acide phytique dans certains grains (**Tableau 14**).

CHAPITRE II: CALCIUM ET PHOSPHORE DANS L'ALIMENTATION DES VOLAILLES

Tableau 14: Localisation de l'acide phytique dans le grain

Céréales	Echantillon	P phytique % (1)	Distribution (2) en % du total dans le grain
Maïs	Hybride commercial	0,25	-
	Endosperme	0,01	3
	Germe	1,80	88
	Cuticule	0,02	0,4
Blé		0,32	-
	Tendre		2
	Endosperme	Traces	13
	Germe	1,10	0
	Tégument	0	87
	Aleurone	1,16	-
Riz		0,25	1,2
	Brun		7,6
	Endosperme	Traces	80
	Germe	0,98	

(1) Teneur en phosphore phytique en p.100 de la partie considérée

(2) Distribution : la somme supérieure à 100 p.100 s'explique parce que certaines parties analysées en recouvrent partiellement d'autres (blé)

Source : (Pointillart, 1994)

d) Proportion de phosphore phytique dans les céréales couramment utilisées

La teneur moyenne de phosphore phytique est aux alentours de 0,2 p.100 de la matière sèche. Elle varie assez peu d'une céréale à l'autre. La proportion rapportée au phosphore végétal total est nettement plus variables (50 à 80 p. 100) selon (Pointillart, 1994) contre 60 p.100 à 80 p.100 selon (Perez et al., 2002) (tableau 15).

Tableau 15: Phosphore phytique (en g/kg) des principales matières premières en alimentation animale.

Matières premières	P phytique (g/kg)	P phytique/p total (en%)
Blé	1,7-2,5	60-77
Maïs	1,7-2,2	66-85
Avoine	1,9-2,3	55-63
Orge	1,9-2,5	51-66
Triticale	2,5-2,6	65-68
Seigle	2,2-2,5	61-73
Sorgho	1,8-2,2	60-74
Sons de blé	8,1-9,7	70-90
Tourteaux		
Soja	3,2-3,8	51-61
Arachide	3,2-4,3	47-69
Coton	7,0-7,5	70

Source : (Pointillart et al., 1993)

CHAPITRE II: CALCIUM ET PHOSPHORE DANS L'ALIMENTATION DES VOLAILLES

Tableau16: Teneurs en phosphore total et phosphore phytique de quelques matières premières.

Matières premières	Phosphore g/kg	Phosphore phytique
Blé	3	67
Maïs	2,6	66
Orge	3,4	56
Avoine	3,4	56
Son de blé	9,9	80
Tourteau de colza	11,7	74
Tourteau de soja	6,1	61

Source : (Therezien et Jolliet., 2006)

II.2.2. Origine animale

Selon (Perez et al., 2002) le terme « farines animales » regroupe à la fois les farines de viande, d'os, de viande osseuse, de sang et ses dérivés (poudre de plasma), de plumes, de volailles, de corne et de sabot, ainsi que les farines de poisson et ses dérivés (hydrolysats et autolysats de poisson). En dépit de leur différence de composition, les farines animales ont comme caractéristiques communes d'être relativement concentrées en énergie, bien pourvues en protéines et surtout riches en macroéléments minéraux (calcium et phosphore) plus disponibles. Rapportées à la matière sèche, leurs teneurs en calcium et phosphore varient respectivement de 5 à 12 p.100 et de 2,5 à 6 p.100 en fonction de la proportion d'os et en fonction inverse du taux protéique (de 45 à 70 p.100). L'emploi des farines animales et de la majorité des graisses animales est désormais interdit dans l'alimentation de toutes les espèces animales (Arrêtés des 14 novembre 2000 et 13 février 2001) de la France. Seules les farines de poissons et leurs dérivés sous certaines conditions sont autorisées dans l'alimentation des volailles (Drogoul et al., 2004).

La teneur moyenne en calcium des sources « biologiques » de carbonate (coquilles de mollusques marins, coquilles d'œufs, etc....) est généralement bonne (INRA, 1991).

La teneur en phosphore varie de 16 à 40 g/kg (écart-type de l'ordre de 4 g/kg) et est fortement liée à la teneur en matières minérales avec un ratio P/MM de l'ordre de 16 p.100 (Tran et Skiba., 2005).

CHAPITRE II: CALCIUM ET PHOSPHORE DANS L'ALIMENTATION DES VOLAILLES

II.2.3. Origine minérale

Le calcium et le phosphore les plus utilisés en alimentation animale sont présentés sous forme de carbonates de calcium et de phosphates de calcium.

II.2.3.1. Calcium minéral : carbonates de calcium

Seuls les carbonates de calcium sont couramment utilisés en alimentation animale. La disponibilité biologique du calcium dans les calcaires est le plus souvent comprise entre 95 et 100 p. 100 mais elle peut quelquefois descendre en dessous de 90 p. 100 (INRA, 1991).

Les carbonates calcomagnésiens, ne doivent pas être utilisés dans l'alimentation des monogastriques car l'excès provoque d'une part la diarrhée et d'autre part, la réduction de l'utilisation du phosphore.

II.2.3.2. Phosphore minéral : phosphates

Du fait de l'abondance des phytates dans les matières premières utilisées en alimentation des animaux, le complément de phosphore nécessaire à l'animal est exclusivement apporté sous forme minérale : phosphates (Narcy *et al.*, 2009). Dans l'alimentation des volailles, plusieurs types de phosphates alimentaires de différentes origines sont produits, les principaux sont le phosphate bicalcique anhydre, et le phosphate bicalcique cristallin dihydraté. L'ensemble des phosphates bicalciques représente approximativement 60 p.100 de la consommation de phosphates alimentaires dans l'UE. D'autres sources sont également utilisées, principalement, le phosphate monocalcique, le phosphate monobicalcique et, à un moindre degré les phosphates de magnésium, calcomagnésiens et mono ou di-ammoniaques (Bleukx, 2005).

Cependant, il convient de souligner que le phosphate bicalcique dihydraté a une digestibilité plus élevée que celle du phosphate bicalcique anhydre. Il est donc important de formuler l'alimentation des animaux monogastriques sur la base du système de phosphore digestible pour les porcs (Jondreville et Dourmad, 2005) ou disponible pour les volailles (Lescoat *et al.*, 2005). (INRA-AFZ, 2004), ont déterminé les valeurs biologiques relatives des principaux phosphates (Tableau 17).

Tableau 17: Valeurs biologiques relatives (VBR) des principaux phosphates

Sources	VBR (%)
Phosphate monosodique	100
Phosphate monocalcique	91
Phosphate bicalcique hydraté	85
Phosphate bicalcique anhydre	76
Phosphate monocalcique	80

Source : (INRA-AFZ, 2004)

**CHAPITRE III : PHYTASES ET LEUR IMPORTANCE DANS
L'ALIMENTATION DES VOLAILLES**

III.1. Phytases

Les phytases sont des enzymes qui permettent l'hydrolyse de la molécule de phytates et la libération des groupes phosphates qui y sont liés, nécessaires pour satisfaire les besoins physiologiques des monogastriques dépourvus de cette enzyme. Il existe au moins 3 sortes de phytase : les phytases végétales contenues dans les plantes, les céréales en particulier, celles qui pourraient être présentes dans le tube digestif et les phytases exogènes d'origine microbienne ou fongique (*Aspergillus ficuum* ou *A. niger*).

III.1.1. Phytases végétales

III.1.1.1. Sources et activité phytasique

La phytase végétale, celle du blé notamment est connue depuis longtemps (Courtois, 1947). Elle a été isolée et caractérisée à partir de sources différentes, blé, maïs, orge, riz, triticales, haricots, courge etc.

La présence et l'activité des phytases varient largement entre espèces végétales (Tableau 18). Hormis le blé, le seigle et leurs hybrides ainsi que le triticales présentent une activité phytasique élevée, elle est très faible dans les tourteaux (soja, colza, coton). L'activité phytasique est variable non seulement entre matières premières mais également intra matière première (Tran et Skiba., 2005).

Tableau 18 : Activité phytasique moyenne des matières premières Unité/kg

Matières premières	Activité phytasique (U/Kg)
Céréales	
Blé	600 ± 60
Remoulages de blé	1900 ± 140
Son de blé	1100 ± 120
Seigle	4900 ± 620
Son de seigle	6300 ± 1100
Triticales	1500 ± 170
Orge	400 ± 200
Pois	80 ± 20
Maïs	30 ± 15
Avoine	30 ± 15
Riz	125 ± 60
Tourteau	
Soja	60 ± 30
Arachide	0

Source : (Pointillard, 1994)

CHAPITRE III : PHYTASES ET LEUR IMPORTANCE DANS L'ALIMENTATION DES VOLAILLES

III.1.1.2- Répartition anatomique

Selon (**Pointillard, 1994**), la phytase des grains et des graines se situe surtout, comme les phytates dans les enveloppes mais l'endosperme (amande du grain) présente une forte activité en dépit de la présence négligeable de phytates.

(**Fourdin, 1984**) a dressé une répartition comparée de la phytase et des phytates dans le grain de blé (**Tableau 19**).

Tableau 19 : Répartition comparée de la phytase et des phytates dans le grain de blé

Fraction	Poids relatif (% du poids sec du grain)	Activité phytasique (en % de l'activité totale)	Distribution des phytates (en %)
Grain entier	100	100	100
Endosperme	82,5	34,1	2,2
Germe	1,0	2,9	} 12,9
Scutellum	1,5	15,3	
Son du blé			
Couches épidermiques	4,5	1,9	} 0
Testa	3,5	4,8	
Aleurone	7,0	39,5	87,1

Source : (**Fourdin, 1984**)

III.2.2. Phytase intestinale

(**Yanke et al., 1998**) ont étudié chez 334 souches de 22 espèces de bactéries ruminales, anaérobies obligatoires, la présence d'une activité phytasique. Cette activité phytasique a été mesurée dans des souches comme *Selenomonas ruminantium*, *Megasphaera elsdenii*, *Prevotella ruminicola*, *Mitsuokella multiacidus* et *Treponema spp.* Les souches les plus actives étaient toutes *S. ruminantium*. Les résultats de (**Park, 2002**) suggèrent que les phytates sont partiellement dégradés dans le gros intestin des moutons, mais le site majeur de la dégradation des phytates est l'estomac.

Le phosphore présent dans le rumen provient de deux origines: le phosphore recyclé par la salive et le phosphore alimentaire (phosphore phytique hydrolysé ou solubilisé totalement) dans le rumen par la micro flore du rumen (**Meschy et Ramirezperez., 2005**).

Une phytase (E.C.3.1.3.8. méso-inositol-phosphohydrolase hexaphosphate) est présente dans l'intestin grêle des animaux comme les rats, les veaux, les poulets et les porcs (**Iqbal et al., 1994**).

Selon (**Pointillard, 1994**), le rat possède une forte activité phytasique de l'ordre de 30 mUI/mg de protéines de la muqueuse de l'intestin grêle entier. Le poulet aurait une activité

CHAPITRE III : PHYTASES ET LEUR IMPORTANCE DANS L'ALIMENTATION DES VOLAILLES

phytasique moins négligeable que celle des autres espèces : le porc (0,5 à 1,5 mUI), le lapin, le cobaye et le hamster. Chez le porc, la phytase du contenu intestinal est négligeable et le phosphore végétal est souvent mieux utilisé par la volaille que le porc.

III.1.3. Phytases fongiques ou microbiennes

Les phytases sont produites par une grande variété d'organismes mais surtout par les microorganismes. Parmi les microorganismes producteurs de phytases on citera notamment : les champignons des genres *Aspergillus*, *Penicillium*, *Mucor* et *Rhizopus*, les bactéries : *Pseudomonas* sp., *Klebsiella* sp., *Escherichia coli*, *Enterobacter* sp., *Bacillus subtilis* et levures : *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida tropicalis*, *Torulopsis candida*, *Debaryomyces castellii*, *Debaryomyces occidentalis* (synonyme *Schwanniomyces castellii*) , *Kluyveromyces fragilis* (WO, 2007).

Ces phytases possèdent des caractéristiques biochimiques très différentes en particulier leur activité en fonction du pH et leur stabilité à la température.

Il ya deux types de phytases : les 3-phytases et les 6-phytases. Les microorganismes tels que les bactéries, les champignons et les levures produisent essentiellement les 3-phytases mais aussi les 6-phytases, alors que les plantes produisent les 6-phytases.

Selon (Jondreville et Dourmad., 2005), quatre phytases sont autorisées dans l'alimentation des porcs de l'Union Européenne, trois 3-phytases et une 6-phytase.

III.2. Mécanisme d'action des phytases

III.2.1. Activité phytasique

Le rôle des différentes phytases présentes dans les graines et des phytases exogènes est d'assurer la libération du phosphore par hydrolyse. Pour (WO, 2007) de nombreuses phytases n'hydrolysent que 5 liaisons phosphate de l'acide phytique soit 83% du phosphore potentiel. (Maenz et al., 1998) indiquent que les monogastriques ont des niveaux très bas de l'activité phytasique dans les membranes des cellules à bordure en brosse de l'intestin grêle.

Récemment, un porc exprimant une phytase salivaire a montré sa capacité à libérer pratiquement en totalité, et dans la partie proximale de l'intestin grêle, le phosphore phytique (Golovan et al., 2001). Ces phytases ont un pH optimal d'action se situant entre 5,2 et 5,6 (Sauveur, 1989), ou 5- 5,5 (Jondreville et Dourmad., 2005). (Maenz et al., 1998) estiment le pH allant de 5 à 6,5 avec un maximum d'hydrolyse à pH 6. Elles sont irréversiblement inhibées lorsque le pH est inférieur à 3. L'activité d'une phytase est exprimée en « Unité d'Activité Phytasique », mesurée *in vitro*.

CHAPITRE III : PHYTASES ET LEUR IMPORTANCE DANS L'ALIMENTATION DES VOLAILLES

Une unité d'activité phytasique est définie comme la quantité de phytase qui permet de libérer 1 μmol de P inorganique par minute de phytate de sodium à pH 5,5 et à 37°C (El-Gindy *et al.*, 2009). L'activité de la phytase végétale diminue très rapidement lorsque le pH est abaissé, alors que l'activité de la phytase microbienne (3-phytase) est encore aux alentours de 60 % à pH 2. (Rapp *et al.*, 2001) ont montré que la phytase microbienne (3-phytase) résiste mieux à la dénaturation dans l'estomac que la phytase végétale, puisque 70% de son activité est préservée dans l'intestin grêle des porcs, contre 40-45 % pour de la phytase de blé.

L'activité phytasique est variable non seulement entre matières premières mais également intra matière première. (Eeckhout et Paepe., 1994) ont mesuré une activité allant de 915 à 1581 U / kg et de 1180 à 5208 U / kg dans, respectivement, 13 lots de blé et 5 lots de son de blé. La réponse de P digestible à des niveaux croissants de phytase est curvilinéaire et la dégradation de P phytique avant les sites d'absorption n'excède jamais 60-70 %, même à des niveaux élevés de phytase ajoutée.

III.2.2. Mécanisme d'action

La phytase (myo-inositol hexa phosphate phosphohydrolase) est une enzyme qui est capable d'hydrolyser les phytates dans le tractus digestif en inositol phosphate et en ortho phosphate (phosphate inorganique) (Wyss *et al.*, 1999). (Hassouni *et al.*, 2006) donnent les produits obtenus après hydrolyse sur la Figure 8 et (Beutler, 2009) donne en détail les étapes de l'hydrolyse (Figure 9).

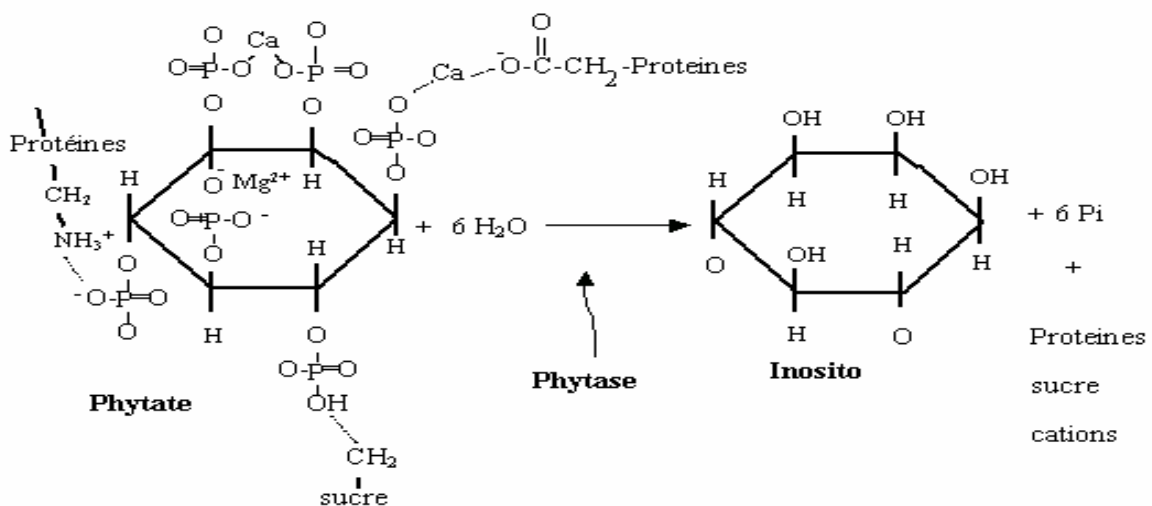


Figure 8 : Hydrolyse de l'acide phytique par la phytase

Source : (Hassouni *et al.*, 2006)

CHAPITRE III : PHYTASES ET LEUR IMPORTANCE DANS L'ALIMENTATION DES VOLAILLES

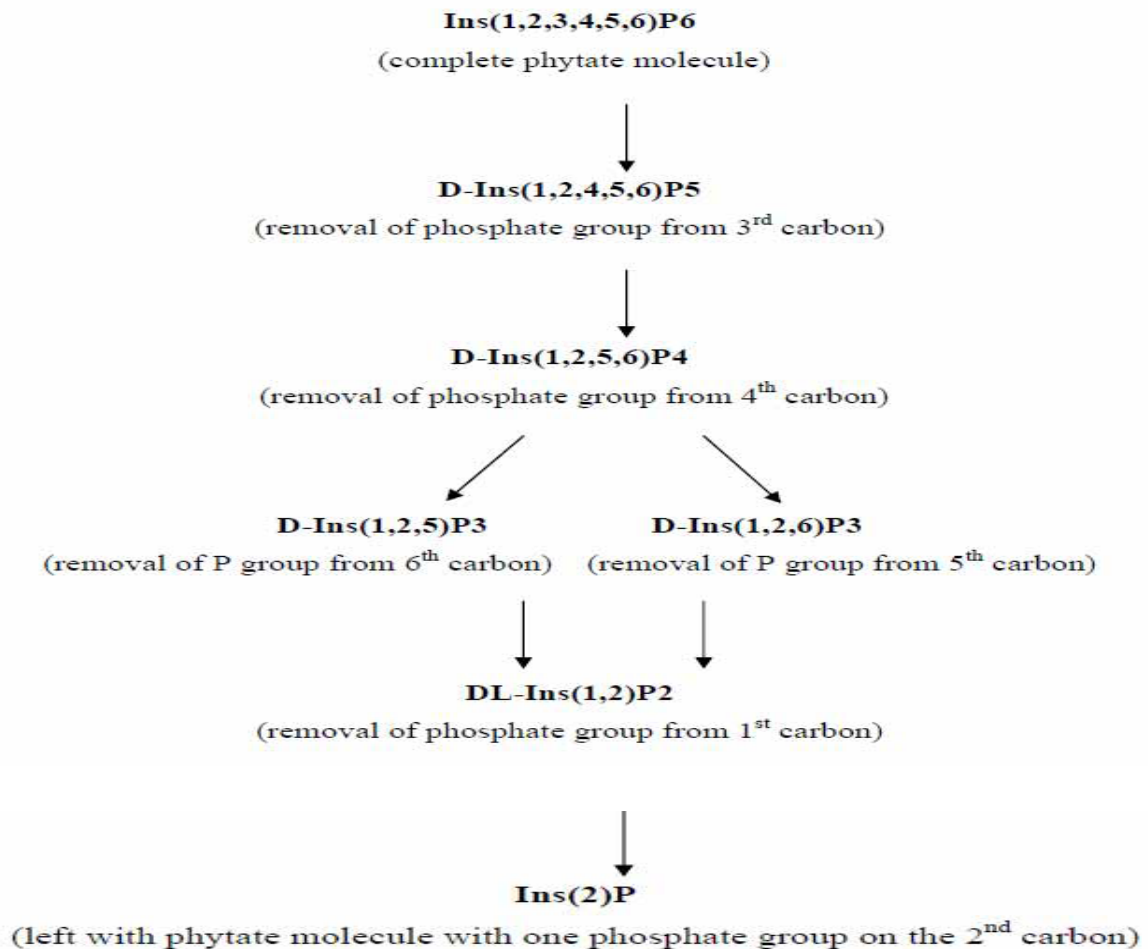


Figure 9: Etapes de l'hydrolyse d'une phytate par une phytase

Source : (Beutler, 2009)

La déphosphorylation se produit en différentes étapes en libérant 5 produits intermédiaires :

- Myo-inositol- pentaphosphate (IP₅) ;
- Myo-inositol- tétraphosphate (IP₄) ;
- Myo-inositol- triphosphate (IP₃) ;
- Myo-inositol- biphosphate (IP₂) ;
- Myo-inositol- monophosphate (IP₁).

Les derniers produits (IP₃, IP₂ et IP₁) sont susceptibles de passer la barrière intestinale. IP₃ est d'ailleurs un médiateur biochimique cellulaire connu (Pointillard, 1994). Toutefois, ces réactions sont sous l'influence de certains facteurs.

III.2.3. Facteurs influençant l'activité phytasique

Ces facteurs intéressent aussi bien les phytases d'origine végétale que microbienne ou fongique.

CHAPITRE III : PHYTASES ET LEUR IMPORTANCE DANS L'ALIMENTATION DES VOLAILLES

a. Facteurs physico-chimiques

a.1. Potentiel hydrogène (pH)

Les phytases sont sensibles aux variations du pH, les milieux trop acides ou trop alcalins peuvent les inactiver de façon irréversible (**Pointillard, 1994**).

Selon (**Kerovuo, 2000**), le pH optimum de phytases varie entre 2,2 à 8. Le Ph optimum des phytases microbienne (3-phytase) et végétale, est aux alentours de 5-5,5.

L'activité de la phytase végétale diminue très rapidement lorsque le pH est abaissé, alors que l'activité de la phytase microbienne (3-phytase) est encore aux alentours de 60 p.100 à pH 2 (**Eeckhout et Paepe., 1992**). Pour (**Sauveur, 1993**), à pH 3 par exemple la phytase du blé serait totalement inactive alors que la phytase fongique conserverait 60 à 80 p.100 de son action. La plupart des phytases microbiennes, en particulier celles d'origine fongique, ont un pH optimum compris entre 4,5 et 5,6. Contrairement à la plupart des phytases fongiques, *A. fumigatus* a un pH optimal large, au moins 80% de l'activité maximale est observée à des valeurs de pH entre 4,0 et 7,3. Certaines phytases bactériennes, en particulier celle provenant de *Bacillus sp*, ont un pH optimal à 6,5 - 7,5. Le pH optimum des semences de plantes à activité phytasique varie de 4,0 à 7,5. La plupart ayant un optimum entre 4,0 et 5,6. La variation du pH observé tout le long du tractus digestif (**Figure 10**) fait que la majeure partie de l'hydrolyse chez les poulets se déroule au niveau du jabot

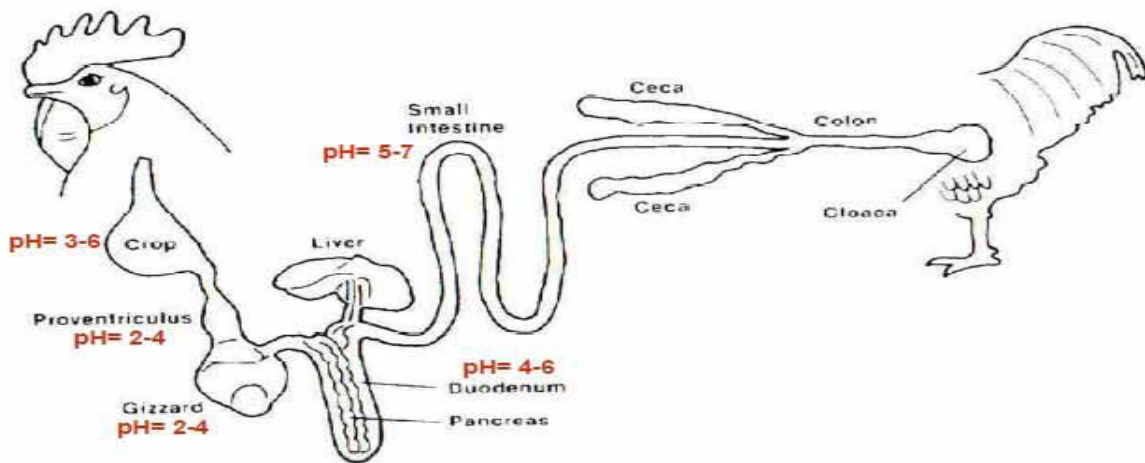


Figure 10 : pH dans le tractus gastro-intestinal du poulet

Source : (**Beutler, 2009**)

(**Beutler, 2009**) montre la différence des pH optimum entre 3 phytases (**figure 11**).

La Ronozyme® a son pH optimum d'activité estimé à 5,0. Le Natuphos® a 2 pH optimum : 2,5 et 5,5. Le Quantum™ a un pH optimal qui varie de 2,5 à 6,0.

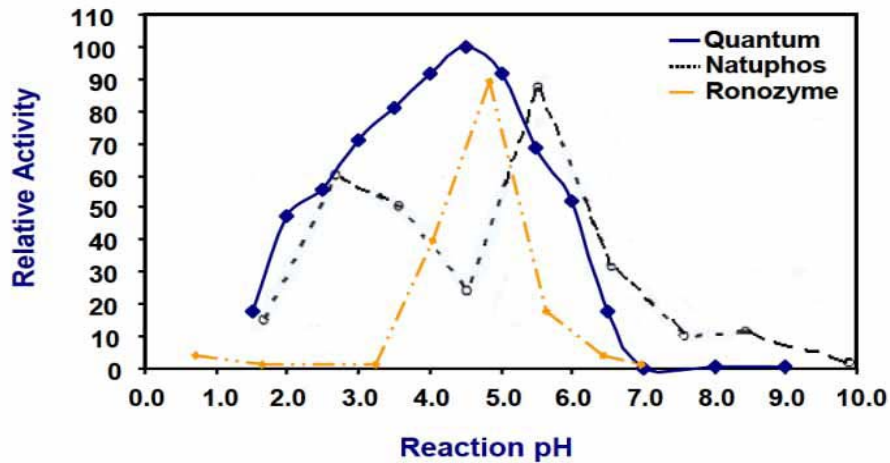


Figure 11: pH optimal de 3 phytases ; Ronozyme®, Natuphos®, Quantum™

Source : (Beutler, 2009).

a.2. Température (chaleur et froid)

La température optimale des phytases varie entre 55-77 °C selon (Kerovuo, 2000). (Wyss et al., 1998) ont étudié les propriétés de thermostabilité de trois acides histidines phosphatases d'origine fongique (les phytases issues d'*Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus Niger*, et *A. Niger* pH optimum de 2,5) par mesure du dichroïsme circulaire (CD), la fluorescence, et l'activité enzymatique. Ils ont montré que les phytases de *A. fumigatus* et *A. Niger* étaient toutes les deux dénaturées à des températures comprises entre 50 et 70 °C. *A. Niger* exposé à 55 à 90 °C était associée à un irréversible changement de conformation et avec des pertes de l'activité enzymatique de 70 à 80 p.100. Contrairement à ces deux phytases, *A. Niger* pH 2,5 a affiché une thermostabilité considérablement plus élevée. La dénaturation, le changement de conformation et l'inactivation irréversibles ont été observés uniquement à des températures de 80 °C. Cette expérience a aussi montré qu'au-delà de 85 °C, la reprise de l'activité enzymatique a été considérablement plus élevée pour la phytase *A. fumigatus* (51p.100) que pour la phytase *A. Niger* (31p.100) ou *A. Niger* pH 2,5 acide phosphatase (14p.100). Cela permet de dire qu'*A. Niger* pH 2,5 est irréversiblement inactivé à des températures dépassant 80 °C. Toutefois, l'exposition des enzymes à plus de 90°C, donne lieu à un irréversible changement de conformation et de la perte complète de l'activité phytasique.

Selon (Kim et al., 1998) *Bacillus sp* produit une phytase (DS11) thermostable. Sa température optimale pour l'activité phytasique était de 70 °C et environ 50% de son activité d'origine est restée après incubation à 90 °C pendant 10 min dans une solution de 5 mM

CHAPITRE III : PHYTASES ET LEUR IMPORTANCE DANS L'ALIMENTATION DES VOLAILLES

CaCl₂. D'après (Tran et Skiba., 2005), un essai conduit par Arvalis – Institut du végétal en 2003 a permis d'observer l'effet de la température de granulation sur un aliment à base de blé. La phytase endogène reste stable jusqu'à 85° C puis devient inactive à 95°C, tandis que le ratio P phytique / P total augmente avec la température (Figure 12).

Les ions calcium ont été nécessaires pour la stabilité thermique. Pour ce qui est des basses températures, (Fourdin, 1984) indique que le froid n'affecterait pas la phytase mais la congélation entraînerait la formation de cristaux de glace qui en rompant les membranes, mettrait en présence l'enzyme et son substrat.

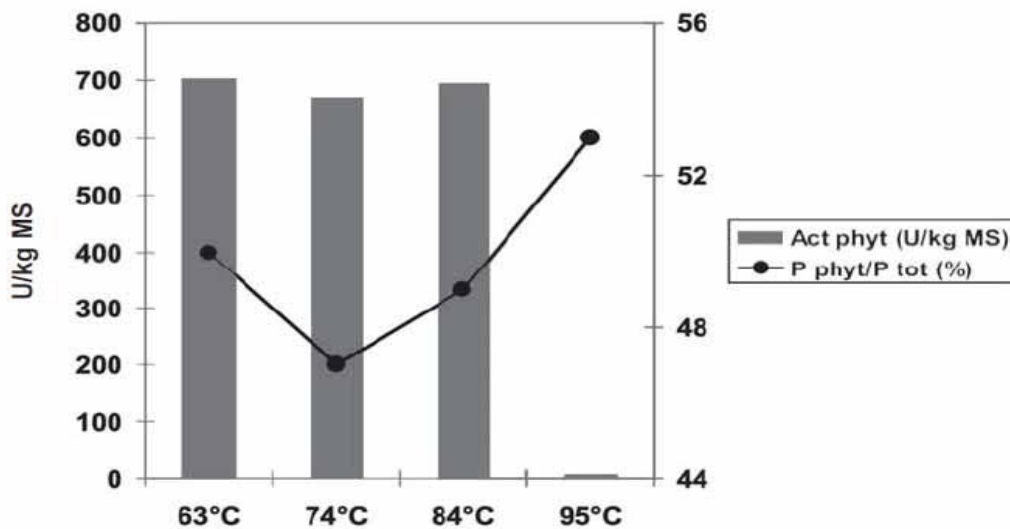


Figure 12: Effet de la température de granulation sur le ratio phosphore phytique / phosphore total (%) et l'activité phytasique du blé (g/kg MS)

Source : (Tran et Skiba., 2005)

b. Autres facteurs

b.1. Humidité

La phytase étant une enzyme hydrolytique, l'action conjuguée d'un air chaud (60°C) et saturé d'humidité peut hydrolyser jusqu'à 30 p. 100 des phytases du blé et des haricots (Fourdin, 1984).

b.2. Combinaison des phytates

Le phytate de calcium est réputé le plus insoluble, donc plus stable et résiste à l'attaque de l'enzyme (Sauveur, 1989). Selon ce même auteur, le seigle est le plus riche en phytate de calcium, le blé en contenant 2 fois moins, le riz 8 fois moins et le maïs 16 fois moins. Toutefois, le phytate de calcium n'est prédominant dans aucune graine, les phytates de magnésium et de potassium étant 40 à 200 fois plus répandus.

Selon (Pointillard, 1994), certaines phytates formant des complexes avec les protéines dans les graines deviennent moins vulnérables à l'attaque phytasique.

CHAPITRE III : PHYTASES ET LEUR IMPORTANCE DANS L'ALIMENTATION DES VOLAILLES

Selon (**Kerevuo, 2000**), l'acide phytique interagit avec les protéines sur une large gamme de pH, formant des complexes phytate-protéines. Lorsque le pH est faible (pH acide), l'acide phytique a une forte charge négative due à la dissociation totale des groupes phosphates. Dans ces conditions, une influence négative de l'acide phytique sur la solubilité des protéines peut être observée en raison de la liaison ionique entre les groupes de base de phosphate de l'acide phytique et l'acide aminé (lysine, histidine et arginine).

III.2.4. Teneur en phytate

La teneur élevée en phytate de certaines farines complètes peut elle-même inhiber l'action de la phytase (**Pointillard, 1994**).

III.2.5. Forme de présentation

La perte de l'intégrité structurale du grain peut modifier son activité phytasique. Selon (**Pointillard, 1994**), le grain moulu possède une activité phytasique plus importante que le grain entier : le substrat de l'enzyme séparé dans les conditions physiologiques, sont mis en présence grâce à la destruction partielle des cellules et des membranes.

III.2.6. Fermentation

La fermentation est susceptible d'accroître la disponibilité du phosphore des graines pour les volailles. Les activités phytasiques des micro-organismes assurant la fermentation et celles éventuelles des graines agissent probablement alors de façon complémentaire, facilitées par le pH légèrement acide et la température de fermentation. Il n'est pas exclu qu'un stockage des graines en condition anaérobie puisse également exercer un effet léger, similaire à celui de la fermentation (**Sauveur, 1989**).

D'autres facteurs peuvent influencer l'activité phytasique. (**Kim et al., 2002**), ont étudié en Australie l'effet de la variété, de l'année de récolte, de la zone de précipitation et du stockage sur la teneur en phosphore, la teneur en phosphore phytique et l'activité phytasique du blé. Ils observent un effet significatif du lieu (zone de précipitation), P total et P phytique augmentant avec les précipitations. L'effet du génotype n'est significatif que sur l'activité phytasique. Par contre, un stockage de 6 mois après la récolte n'a pas modifié la teneur en P de blé.

Avalise - Institut du végétal a mesuré l'activité phytasique et le rapport phosphore phytique sur phosphore total sur 5 variétés d'orge d'hiver et 3 variétés d'orge de printemps des récoltes 2000 et 2002. Les variétés d'hiver ont une activité phytasique moindre que les variétés de printemps, et présentent des ratios P phytique / P total supérieurs en raison d'une teneur inférieure en P phytique dans les variétés de printemps.

CHAPITRE III : PHYTASES ET LEUR IMPORTANCE DANS L'ALIMENTATION DES VOLAILLES

III.3. Critères utilisés dans l'étude des effets des phytases

Plusieurs critères sont utilisés pour l'influence de la supplémentation en phytase d'un régime. Chez les poules pondeuses les critères les plus utilisés sont de deux ordres : les critères zootechniques et les critères biochimiques.

III.3.1. Critères zootechniques de croissance

Ces critères, selon (**Debicki-Garnier et al., 2009**) sont :

- Le poids vif et le gain moyen quotidien (GMQ) ;
- L'efficacité alimentaire ;
- Le taux de mortalité ;
- La résistance osseuse
- Le taux de ponte
- Le taux de casse
- Le poids d'œuf
- Le poids de la coquille

III.3.2. Critères biochimiques

Ce sont selon (**Petra et al., 2009**) :

- La matière sèche (MS) et la concentration en P et Ca des excréta ;
- La matière sèche et le pourcentage de cendres des os (matière minérale) ;
- La phosphorémie (présence le p dans le sang) ou la phosphatémie (Ce phénomène pourrait être considéré comme une réponse physiologique à l'augmentation des besoins en P, déterminé essentiellement par la croissance tissulaire et la minéralisation du squelette . (**Sauveur, 1989**))

III.4. Comparaison de l'activité des phytases végétales et des phytases microbiennes

L'utilisation de phytases végétales ou microbiennes, demeure la voie de choix pour améliorer la digestibilité du phosphore des céréales. Les phytases d'origine végétale ou microbienne, sont caractérisées par une activité phytasique mesurée in vitro. Pour une même activité mesurée in vitro, la phytase végétale est 1,4 à 2,5 fois moins efficace in vivo que la phytase microbienne (3-phytase) (**Eeckhout et Paepe., 1992**). En effet, (**Rapp et al., 2001**) ont montré que la phytase microbienne (3-phytase) résiste mieux à la dénaturation dans l'estomac que la phytase végétale, puisque 70 p.100 de son activité est préservée dans l'intestin grêle du porc, contre 40-45 p.100 pour de la phytase de blé. En comparaison avec les phytases végétales, la résistance à la dénaturation des phytases microbiennes dans l'estomac

CHAPITRE III : PHYTASES ET LEUR IMPORTANCE DANS L'ALIMENTATION DES VOLAILLES

favorise l'augmentation de la digestibilité du phosphore phytique chez les monogastriques. De plus, l'apport de 500 unités phytasiques (UP) de phytases végétales naturelles est considéré comme équivalent à 0,4 g de phosphore digestible, alors que 500 UP de phytases microbiennes correspondent à 0,8 g de phosphore digestible, qui s'ajoutent également aux autres apports de phosphore digestible d'après la chambre régionale d'agriculture des pays de la Loire (2005).

III.5. Comparaison de l'activité des phytases fongiques et microbiennes

Selon (Cowieson *et al.*, 2009) l'addition de phytase, quelle que soit son origine (bactérienne ou fongique), permettrait de réduire le flux d'acides aminés endogènes.

Toutefois, cette réduction semblerait plus importante avec la phytase d'origine bactérienne qu'avec la phytase d'origine fongique. Cela suggère qu'il existe des différences dans la capacité des phytases exogènes à contrecarrer les effets antinutritionnels de l'acide phytique.

Il a été montré que la phytase *S. pombe* (phytase microbienne) possédait une activité relative en fonction du pH supérieure aux phytases *A. niger* et *P. lycii* (phytases fongiques), et qu'elle était plus résistante à l'inactivation par les protéases endogènes du tube digestif (Debicki-Garnier *et al.*, 2009). Selon (Beckers et Piron., 2009) les premières phytases utilisées en pratique étaient d'origine fongique, des données montrent que les phytases bactériennes (*E. coli*) seraient plus efficaces pour extraire le phosphore des phytates, notamment grâce à leur plus grande résistance à la protéolyse leur donnant la possibilité de s'exprimer aussi dans l'intestin grêle.

III.6. Influence des phytases sur l'utilisation digestive des protéines, des minéraux et de l'énergie métabolisable

Le phosphore phytique renferme 6 fonctions phosphates (PO₄) et s'associe à divers cations constituant des sels de Ca²⁺, Mg²⁺, Fe²⁺, Zn²⁺ et à d'autres nutriments (protéines, acides aminés) (Bernadet *et al.*, 2006). Plusieurs auteurs ont montré que l'ingestion d'acide phytique pouvait affecter de façon négative les échanges d'acides aminés, de minéraux et d'énergie dans le tube digestif des poulets de chair.

III.6.1. Protéines et minéraux

(Cowieson *et al.*, 2009) montrent à travers leur expérimentation que l'augmentation du taux d'acide phytique de 8,5 à 14,5 g/kg d'aliment augmentait le flux de tous les acides aminés endogènes mesurés. Cette augmentation était de 68 % en moyenne, mais les valeurs s'échelonnaient de 17 % pour la proline à 145 % pour la phénylalanine. Pour l'acide aspartique, la sérine, l'acide glutamique, la leucine, la tyrosine, la phénylalanine et l'histidine,

CHAPITRE III : PHYTASES ET LEUR IMPORTANCE DANS L'ALIMENTATION DES VOLAILLES

l'augmentation du flux était supérieure à la moyenne, indiquant un changement dans la composition des protéines endogènes en réponse à la présence de fortes concentrations d'acide phytique. (Santos *et al.*, 2008) ont aussi montré que la supplémentation du régime de phytase permet d'augmenter la digestibilité iléale des protéines brutes.

Les avantages sur les acides aminés sont maximisés à des doses relativement faibles tandis que pour les minéraux, les avantages semblent continuer à augmenter avec la dose progressive, ce qui est en accord avec l'augmentation de la perte de phytate comme une activité phytase augmentée (Cowieson *et al.*, 2006).

Selon (Bernadet *et al.*, 2006), un apport de 650 FTU/kg de 3-phytase dans un aliment titrant 0,6 g/kg de NPP et 5,5 g/kg de Ca tend à améliorer les performances zootechniques et diminue fortement les rejets phosphorés (- 30%). Les données obtenues par (Han *et al.*, 2009), suggèrent que des niveaux élevés de phytase microbienne pourrait libérer la quasi-totalité de PP alimentaires et remplacer tout le Pi ajouté dans le régime des poulets de 22 à 42 jours, à l'engraissement.

(Zhou *et al.*, 2008) en supplémentant un régime alimentaire carencé en phosphore disponible par la phytase à des doses variables de 500 et 750 U/kg d'aliment ont mis en évidence l'augmentation de la rétention de Ca, P, Zn. Les niveaux de Cu, Zn, Mg et Mn dans l'os du tibia à 28 jours d'âge, du Zn et du Mn à 42 jours d'âge chez les oiseaux nourris avec des régimes avec la phytase étaient plus élevés que ceux des oiseaux nourris avec un régime de contrôle sans phytase.

III.6.2. Energie métabolisable

En effet, (Ravindran *et al.*, 2000, 2001), ont constaté que l'addition de phytase dans l'aliment améliore la valeur de l'énergie métabolisable apparente (AME). Au cours d'une expérimentation, ils ont montré que la supplémentation de phytase dans la ration a augmenté les valeurs AME de 13,36 à 13,54 MJ / kg de matière sèche dans les régimes à faibles teneurs en phosphore non phytique et de 12,66 à 13,38 MJ / kg de matière sèche dans les rations à teneurs adéquates de phosphore non phytique. Cette amélioration est confirmée par (Lan *et al.*, 2002). (Shirley *et Edward.*, 2003) ont observé une amélioration de l'énergie apparente de 3216 à 3415 kcal/kg d'aliment. (Pirgozliev *et al.*, 2008) ont quant à eux observé une augmentation de la consommation d'énergie de 10,3 p.100 à cause de l'augmentation de la consommation alimentaire. Cependant, en étudiant l'efficacité d'une phytase dérivée d'*E. coli*, ont montré que l'augmentation des niveaux de phytase (250, 500, 750, 1000) unité phytasique (FTU)/kg diminue la rétention de l'énergie apparente.

III.7. Intérêt des phytases dans l'alimentation des monogastriques

D'après (**Beckers et Piron., 2009**), quatre raisons essentielles justifient les usages des enzymes exogènes en alimentation animale :

- Pour inhiber l'action des facteurs antinutritionnels contenus dans les aliments et qui ont des effets délétères sur le processus de la digestion et la santé de l'animal;
- Pour augmenter l'accessibilité des nutriments contenus dans les aliments par les enzymes endogènes de l'animal ;
- Pour pallier l'absence chez l'animal d'enzyme capable d'hydrolyser des liaisons chimiques particulières ;
- Pour pallier au manque d'enzyme au niveau d'un tube digestif immature (jeunes animaux).

Aujourd'hui, l'utilisation des phytases dans l'alimentation des animaux en Europe, en Amérique, dans certains pays de l'Asie est due au triple intérêt qu'elles présentent : économique, écologique et physiologique.

III.7.1. Intérêt économique

Aujourd'hui, les nombreux essais réalisés montrent que l'addition des phytases dans l'alimentation des volailles, permet de réduire le taux d'incorporation du phosphore minéral dont le prix a connu une envolée remarquable sur les marchés.

Dans la plupart des aliments, les doses de phytase permettent d'économiser jusqu'à 4,4 kg de phosphate monocalcique ou 6,4 kg de phosphate dicalcique.

D'après (**Jondreville et Dourmad., 2005**), l'augmentation de la teneur en P digestible des matières premières varie d'un aliment à un autre. Une valeur moyenne peut cependant être retenue autour de 0,4 g Pdig /500 UI d'activité phytasique.

Selon l'étude menée par (**Chapoutot et Pressenda., 2005**), le prix des formules et la proportion de phosphate bicalcique dans les mélanges ont varié respectivement de 130 à 187 €/t et de 0,57 à 1,00 p.100. Comparativement aux normes

(**INRA, 1989**), l'utilisation des normes (**INRA, 2004**) permet, dans le cas d'un aliment en farine, d'intégrer l'effet des phytases végétales des matières premières qui ne sont pas inactivées. Cela conduit à une baisse du coût du mélange (de - 0,46 à - 1,42 €/t, moyenne = 0,81 €/t) associée à une réduction des apports de phosphate bicalcique (de 0,07 à 0,54 p.100, moyenne = 0,32 p.100). Le coût de la supplémentation en phytases exogènes a été estimé à 1,2 ou 0,9 €/t pour 500 UI d'activité phytasique ajoutées.

CHAPITRE III : PHYTASES ET LEUR IMPORTANCE DANS L'ALIMENTATION DES VOLAILLES

Lorsqu'on ajoute des phytases exogènes (1,2 €/t pour 500 UI) dans un aliment granulé à un taux d'incorporation de 0,01 p.100, le pourcentage de phosphate bicalcique a été inférieur à 0,25 p.100 (moyenne = 0,21 p.100, mini - maxi = 0,09 - 0,43 p.100). Le coût «matières premières + enzymes» a varié pour ces mélanges de 130 à 187 €/t. De façon à maximiser l'emploi des phytases exogènes en formulation, leur prix a été réduit à une valeur représentant un coût de 0,9 €/t pour 500 UI et leur niveau d'incorporation a été laissé totalement libre au-delà de 500 UI /kg de mélange en considérant l'action des phytases végétales et microbiennes comme linéaire.

Plusieurs auteurs ont montré que dans une plage plus importante, l'activité des phytases microbiennes présentait un effet curvilinéaire. Il faudra donc tenir compte de l'interaction entre phytases végétales et microbiennes (**Figure 13**) pour ajuster l'apport de phosphore bicalcique

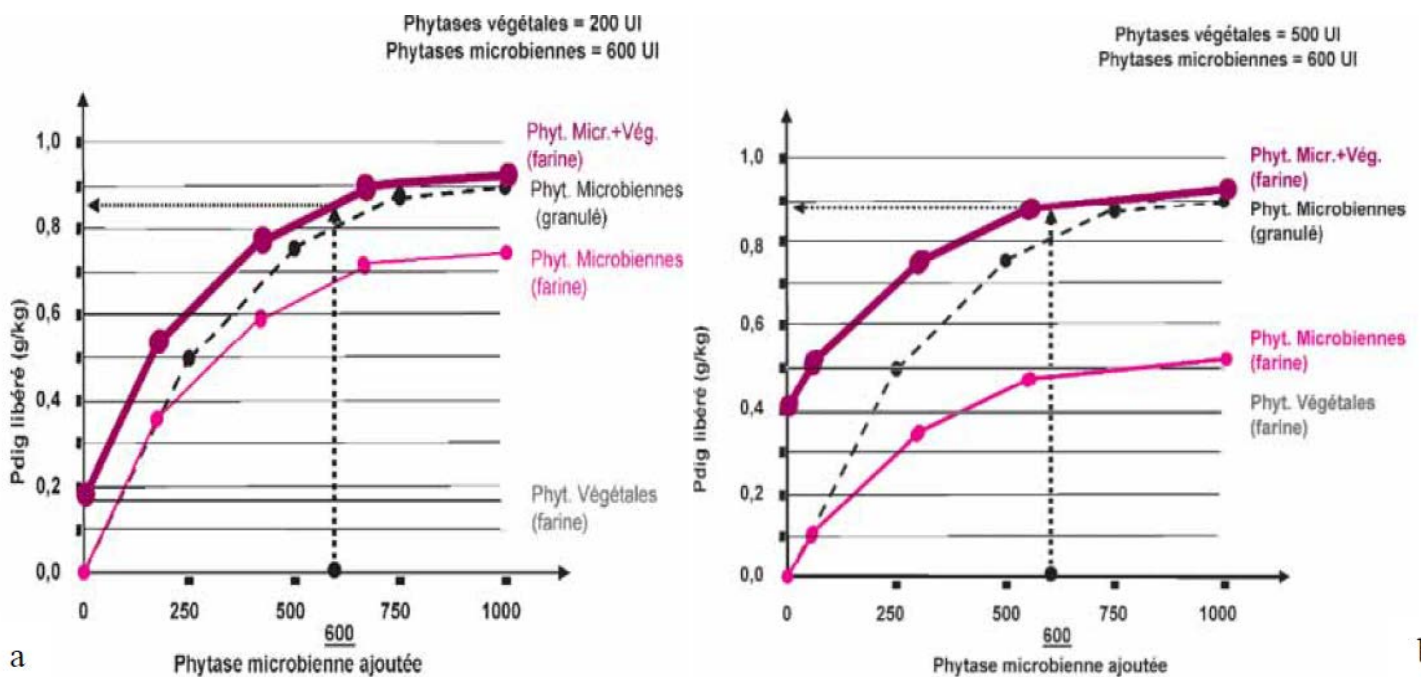


Figure13 : Interaction entre phytases végétales et microbiennes

Source : (**Chapoutot et Pressenda., 2005**).

III.7.2- Intérêt écologique ou environnemental

D'après (**Narcy et al., 2009**) les rejets de P dans l'environnement, notamment dans les zones à forte densité d'élevage, sont à l'origine de phénomène d'eutrophisation des eaux de surface correspondant au développement d'une flore de surface asphyxiant le milieu aquatique (disparition de la flore naturelle, raréfaction de la vie aquatique). Les rejets de P dans le milieu aquatique étaient en France de l'ordre de 70 000 tonnes par an au début des

CHAPITRE III : PHYTASES ET LEUR IMPORTANCE DANS L'ALIMENTATION DES VOLAILLES

années 2000 dont 41600 tonnes parvenaient à la mer. Près de 50 p.100 étaient imputés aux rejets d'origine domestique. A l'industrie était attribué 1/4 des rejets et aux activités agricoles le quart restant, dont le phosphore provenant des élevages représentait 80 p.100 (**Castillon, 2005**). La figure présente le cycle du phosphore dans le sol avec les différentes sources selon (**Sutton et al., 2004**).

PARTIE
EXPERIMENTALE

MATERIELS

ET

METHODES

MATERIELS ET METHODES

I. Objectif scientifique

L'objectif de notre étude a porté sur l'effet de l'utilisation de la phytase issue de la souche *Aspergillus oryzae*, dans l'alimentation de la poule pondeuse a l'âge de 43eme semaine (phase descendant) sur les performances zootechniques (le poids de la poule, taux ponte taux de casse, la mortalité et le poids d'œuf, et même sur la durée d'élevage) ainsi que les performances économiques (le cout d'aliment) ; et donc sur la rentabilité de l'élevage, dans le but d'apporter des additifs naturels et bénéfiques pour améliorer les performances technico-économiques

II. Lieu et période d'étude

L'essai expérimental a été réalisé au niveau de l'unité de production d'œufs de consommation « SPA Avitedj» route de Fadjana daïra de Hadjout. L'unité est une société par actions.

La période d'essai est de 56 jours :

-début d'essai : 13/02/2014

-fin de l'essai : 10/04/2014

III. Matériels

III.1. Bâtiment et équipements

III.1.1. Bâtiment

Le bâtiment est composé d'un magasin pour la conduite et le contrôle de du fonctionnement des équipements et le bâtiment proprement dit contenant cinq rangées de batteries composées chacune de 3 étages, d'une capacité totale de 30000 poules.

Les lots étudiés sont situés en fin de batteries 3 et 4 ; les différents lots expérimentaux sont répartis comme suit : les lots expérience 1 (Exp1) et témoin 1 (T1) sont dans même batterie (batterie 4) et les deux autres (Exp2 et T2) sont dans la batterie 3 pour faciliter la compression entre les lots de chaque batterie

Les caractéristiques de ce bâtiment

- Longueur : 120 m
- Largeur : 12 m

- Superficie : 1440 m²



Photo 1: Les photos du bâtiment

3.1.2. Equipements (Annexe 1)

Equipements sont :

Les cages ont les dimensions suivantes : 50cm de longueur, 35cm de largeur et 45cm de hauteur ; Chaque cage est équipée d'une mangeoire linéaire à remplissage automatique par un distributeur d'aliment de 3 étages, et d'un-système d'abreuvement automatique (2 pipettes par cage) a remplissage automatique (connecté à l'eau du robinet) commun pour chaque module. La collecte des œufs est manuelle.

3.1.2. Autre matériel :

- **Centre d'aliment :**

Dans cette centre l'éleveur fabrique l'aliment ça facilité la distribution d'aliment et même a un intérêt économique.



Photo 2 : Centre de fabrication d'aliment

- **Les balances :**

- balance de 30kg —————> Pour peser l'aliment et les poules (**Annexe 1**)
- balance de 500g —————> Pour peser l'œuf et la coquille

III.2. Conditions d'ambiance

- **La ventilation :**

Il existe 6 petits ventilateurs B 15(15000m³/h) et 8 grands ventilateurs B 41(41000m³/h)

- **L'éclairage**

La durée de lumière 14h (de 7h a 21h) avec un flash a minuit (de 00h a 1h)

Éclairage affecté le processus de l'ovulation et la production d'œufs ainsi que du fait de leur effet sur la sécrétion d'hormones donc se flash accélération la sélection d'hormones, et aussi pour alimenter les poules.

- **La température:**

La température est entre 24c°-27c° dans le bâtiment et le changement de température dans l'extérieur de bâtiment (le climat) influence sur la température d'intérieur de bâtiment.

➤ **L'eau :**

-La consommation de l'eau à volonté (4000L / jour).

-La distribution d'eau est automatique.

III.3. Cheptel expérimental

-L'effectif étudié est de 420 sujets ; à raison de 5 poules /cage et 7 cages dans chaque étage donc il y a 105 poules dans chaque lot (5poules*7cages*3 étages = 105poules/lot)

-La souche : ISA Brown

-l'âge : .l'âge de début d'essai est la 43ème semaine

. L'âge de fin d'essai est de 51 semaines soit 8 semaines



Photo 3 : Les poules dans les cages

III.4. Alimentation et composition de la ration

L'alimentation est composée de deux formules : première formule pour les expériences (exp1-exp2) avec la phytase (**Tableau 20**) et deuxième formule pour les témoins (Tém1-Tém2) sans phytase (**Tableau 21**).

L'aliment expérimental et l'aliment témoin sont iso-énergétiques et iso-protéiques.

Tableau 20 : Formule ponte ISA Brown de 28 à 50 semaines avec phytase.

Matière première	Pourcentage %	Poids kg
Calcaire (caco ₃)	9,51	95,09
CMV ponte	1,00	10,00
Phytase	0,01	0,06
Son de blé dur	1,85	18,58
Maïs	60,45	604,10
Tourteau de soja	26,07	260,48
Phosphate bicalcique	1,10	11,00
Total	99,99	999,13

Tableau 21: Formule ponte ISA Brown de 28 à 50 semaines sans phytase

Matière première	Pourcentage %	Poids kg
Calcaire (caco ₃)	9,53	95,30
CMV ponte	1,00	10,00
Maïs	60,56	605,37
Tourteau de soja	27,27	272,68
Phosphate bicalcique	1,62	16,22
Totale	99,98	999,57

Tableau 22 : Valeur nutritionnelle de l'aliment

Code	Nutriments (unité)	Valeur	
		Témoin	Expérience
00001	Poids (%)	100.000	100.000
00002	Cellulose brute (%)	3.949	4.061
00003	CENDRES (%)	2.363	2.358
00004	PROTEINE (%)	17.001	17.009
00005	MATIERE (%)	5.356	4.641
00006	MATIERE (%)	87.705	87.994
000090	Vitamine D (UI/KG)	1600.423	1600.056
00011	SUCRES (%)	3.234	3.229
00012	AMIDON (%)	37.525	38.213
00013	BIOTINE (%)	-	-
00017	ENERGIE (KCAL)	2750.572	2750.534
00021	LYSINE (%)	0.895	0.887
00022	MET+CYSTIN (%)	0.559	0.561
00023	METHIONINE (%)	0.364	0364
00024	THREONINE (%)	0.665	0.664
00025	LEUCINE (%)	1.456	1.444
00026	ARGININE (%)	1.077	1065
00027	TRYPTOPHA (%)	0.193	0.191
00028	ISOLEUCINE (%)	0.752	0.741
00028b	Isoleucine (%)	-	-
00029	VALINE(%)	0.823	0.815
00029b	Valine AAA (%)	-	-
00038	PHOSPHOR (%)	0.598	0.652

MATERIELS ET METHODES

00039	PHOSPHOR (%)	0.371	0.373
00040	CALCIUM (%)	3.602	3.610
00041	CHLORE (%)	0.028	0.029
00042	SODIUM (%)	0.160	0.160
00043	POTASSIUM (%)	0.693	0.692
00043	MAGNESIUM (%)	0.145	0.147
00044	SOUFRE (%)	0.191	0.190
00045	DEB (ME/KG)	173.462	173.967
00051	ACIDE (%)	2.071	1.714
00052	ACIDE (%)	0.242	0.206
00053	ACIDE (%)	2.199	1.903
00054	ACIDE (%)	0.091	0.090
00056	PIGMENT (ME/KG)	-	-
00058	ACIDE (%)	1.393	1.417
00071	LYS AAA (%)	0.737	0.722
00072	MET+CYSTIN (%)	0.444	0.443
00073	METHEONINE (%)	0.218	0.217
00074	THREONINE (%)	0.528	0.519
00075	LEUCINE (%)	1.268	1.255
00077	TRYPTOPHA (%)	0.169	0.167
00078	VITAMINE A (UI/KG)	8002.115	8000.279
00079	VIT.E (MG/KG)	6.002	6.000
00080	VIT. K3 (MG/KG)	0.800	0.800
00081	VIT. B1 (MG/KG)	1.000	1.000
00082	VIT. B2 (MG/KG)	3.001	3.000
00083	VIT. B6 (MG/KG)	1.500	1.500
00084	VIT. B12 (UGr/KG)	6.002	6.000
00085	NAICINE (MG/KG)	-	-
00086	VIT.B5 (MG/KG)	-	-
00087	ACIDE (MG/KG)	0.200	0.200
00088	BIOTINE (MG/KG)	-	-
00089	CHLINE (MG/KG)	280.074	280.010
00090	VIT B3 acide (MG/KG)	-	-
00091	Pantothénate (MG/KG)	-	-
00092	VIT. C (MG/KG)	-	-
00099	Energie (KCAL)	2517.555	2545.485
00121	Cuivre (MG/KG)	11.469	11.312
00122	Sélénium (MG/KG)	0.250	0.250
00124	Fer (MG/KG)	50.013	50.002
00125	Cobalt (MG/KG)	0.150	0.150
00126	Zinc (MG/KG)	65.017	65.002
00127	Iode (MG/KG)	0.800	0.800
00128	Manganèse (MG/KG)	65.017	65.002
00155	Xanthophylle (MG/KG)	-	-
00216	HUMIDITE (%)	9.734	9.650
00229	OMGA 6 (G/KG)	3.042	2.931
00251	BHT (MG/KG)	-	-
00901	Phytase (FTU/KG)	-	304.359
01	Ca/P	-	-
242	Extactif non (%)	-	-

III.5. Phytase

La phytase utilisée est le Ronozyme NP qui est une 6-phytase d'une souche génétiquement modifiée d'*Aspergillus oryzae* (DSM17594). le produit est fabriqué sous trois formes:.. Ronozyme NP forme a granulaire avec une activité de 50 000 FTUg-1; Ronozyme NP (CT), une forme granulaire revêtu d'une activité de 100 000 FTU g-1 la caractérisation de Ronozyme NP (CT) et (5L) a été décrit précédemment (EFSA, 2008).



Photo 4 : Phytase (Ronozyme NP)

IV. Méthodes

IV.1. Préparation des lots

Il y a 4 lots en fin de batterie 3 et 4 ; les lots de l'expérience (Exp1) et témoin 1(T1) sont dans la même batterie (B4) et l'expérience 2 (Exp2) et témoin 2 (T2) dans la batterie (B3). (**Figure14**)

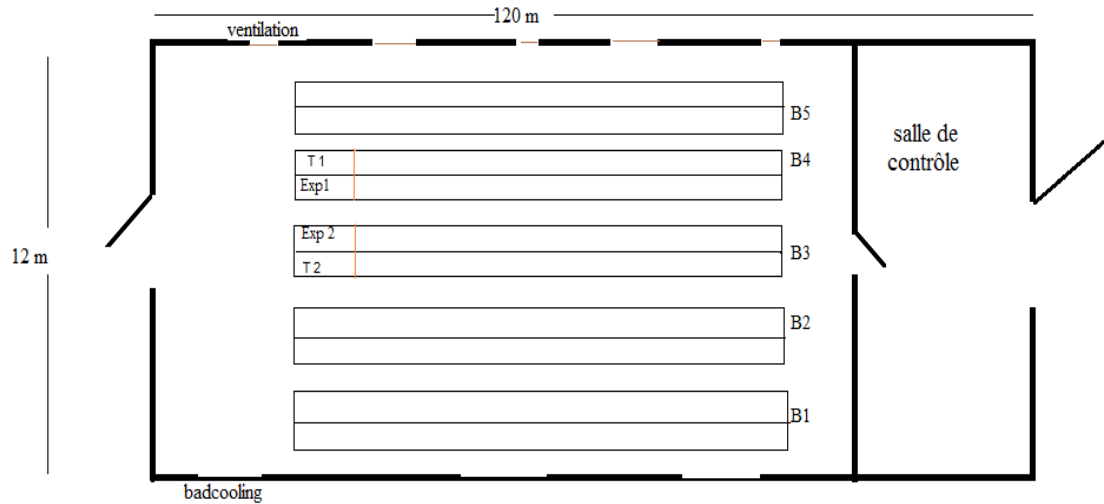


Figure 14 : Présentation des lots dans le bâtiment.

IV.2. Programme de prophylaxie

L'essai a été fait dans un bâtiment privé, le programme de prophylaxie est réalisé par le vétérinaire de l'unité ; les médicaments sont seulement constitués des vitamines comme (Vitamisol, Aminovitalsape) et Hepatoprotecteur comme (Hepatoval et intertonie) tous les médicaments sont préparés dans l'eau (**tableau 23**)

Tableau 23: Plan de traitement médical en période de stage

Le médicament		Quantité	Durée de traitement
Vitamine	Vitamisol	800g /jour (5fois /jour)	4 jour / semaine
	Aminovitalsape	400g/ jour (2fois/ jour)	2 jour /semaine
Hepatoprotecteur	Hepatoval	1L/jour (5fois /jour)	1 fois / semaine
	Intertonic	1L /jour (2fois/jour)	1 fois / semaine

IV.3. Travaux quotidiens

- ✓ La distribution de l'aliment est faite manuellement 3 fois par jour (9heures du matin, midi et 15h le soir).

- ✓ La quantité d'aliment distribuée par jour est la même dans tous les lots.
- ✓ Le nettoyage des mangeoires est fait chaque semaine
- ✓ La collecte des œufs est manuelle
- ✓ La Pesée des œufs, des poulettes et les refus d'aliment sont mesurés

IV.4. Paramètre zootechniques

Les données collectées ont permis de faire les calculs de différents paramètres zootechniques et de déterminer le Gain Moyen Quotidien (GMQ), l'indice de consommation et le taux de mortalité, le taux de ponte, le taux de casse et le poids de la coquille.

IV.4.1. Consommation alimentaire

Pour chaque semaine la quantité d'aliment distribuée et refusée a été pesée à l'aide d'une balance de 30 kg et enregistrée ; pour calculer la consommation journalière de l'effectif (**annexe 2**)

IV.4.2. Poids vif des animaux

La pesée des poules est faite chaque semaine pendant 8 semaines :

- pesée de toutes les poules avant le début de l'expérience, du 1^{ère} jour à la fin de l'expérience après 56 jours
- cette opération a été faite à l'aide d'une balance de 30 kg
- tous les poids ont été enregistrés dans la fiche de chaque semaine (**annexe 3**)

IV.4.3. Mortalité

Tous les jours la mortalité, a été enregistrée sur une fiche de mortalité pour faciliter le travail. (**Annexe 4**)

IV.4.4. Collecte des œufs

La quantification des œufs est faite tout les vingt quatre heures (24h) et enregistrée (**annexe 5**) et la collecte des œufs est faite 2 fois par jour a midi et a 15 :00 h de soir.

La collecte des œufs est faite manuellement

IV.4.5. Poids d'œuf

Pendant le stage la pesée d'œuf est faite chaque fin de semaine

La première pesée est faite le premier jour de stage et après a est faite chaque semaine du début de l'essai à la fin. (Annexe 6)

IV.4.6. Poids de la coquille

Nous avons pesé le poids de la coquille 4 fois durant le stage (1^{ère} semaine ,3^{ème} semaine, 5^{ème} semaine et à la fin de l'expérience 8^{ème} semaine) ; a partir des œufs de même poids dans chaque lot. (Annexe 7)

IV.5. Détermination des variables zootechniques

IV.5.1. La masse d'œuf

Le calcul de la masse d'œuf est pour faciliter de calcul la consommation pour fait le calcul la masse d'œuf en fais l'équation suivant :

$$\text{Masse d'œuf} = \frac{\text{le poids moyen d'œuf} \times \text{quantité d'œuf produite par semaine}}{\text{effectif début de semaine}}$$

IV.5.2. Quantités ingérées

La consommation alimentaire individuelle permet d'évaluer les quantités d'aliments consommées par animal sur une période de temps déterminée. Elle a été calculée à l'aide des mesures de quantités d'aliments distribuées et refusées. Elle s'exprime en (g) et se détermine selon la formule suivante :

$$Q_i \text{ (g)} = \frac{\text{Quantité d'aliment distribuée (g)} - \text{Quantité d'aliment refusée (g)}}{\text{Durée de la période (j)} \times \text{nombre de sujets}}$$

IV.5.3. Gain moyen quotidien (GMQ)

Les mesures des poids relevées ont permis de calculer le Gain Moyen Quotidien en faisant le rapport du gain moyen pondéral pendant une période sur la durée (en jours) de la période.

$$\text{GMQ (g/j)} = \frac{\text{poids de final(g)} - \text{poids initial(g)}}{\text{durée de stage}}$$

IV.5.4. Indice de consommation (IC)

L'indice est le critère du bon élevage et pour calculer l'indice de consommation par l'équation suivante :

$$IC = \frac{\text{quantité ingérée pendant la période (g)}}{\text{masse d'œuf (g)}}$$

IV.5.5. Taux de mortalité (TM)

La mortalité ou la viabilité est exprimée en pourcentage ; pour calculer le taux de mortalité par l'opération suivante :

$$TM = \frac{\text{Nombre de morts au cours d'une période}}{\text{Effectif en début de la période}} \times 100$$

IV.5.6. Taux de ponte (TP)

Le taux de ponte est mesuré par le nombre d'œufs produit par semaine par un effectif donné x 100 pour l'exprimer en pourcentage

$$TP = \frac{\text{nombre d'œuf par semaine}}{7 \text{ jours}} \times 100$$

IV.5.7. Taux de casse (TC)

Le taux de casse est le nombre d'œuf cassé pendant la période de l'expérience par rapport au nombre total d'œufs.

$$TC = \frac{\text{nombre d'œuf cassé}}{\text{nombre total d'œuf}} \times 100$$

IV.5. Analyse statistique

Les données collectées ainsi que les variables calculées ont fait l'objet d'un traitement statistique à l'aide du logiciel STATGRAPHICS centurion XVI. Version 16.1.18 (32-bits) par le biais d'une analyse de variance (ANOVA).

RESULTATS
ET
DISCUSSION

RESULTATS ET DISCUSSION

1. Poids vif de la poule

Au début de notre expérimentation à j1 le poids moyen en kg des volailles de chaque lot était de 1,523±0,164kg pour l'expérience1, 1,550±0,154kg pour le témoin1, 1,569±0,215kg pour l'expérience2, et 1,524±0,185kg pour témoin2. (tableau24)

A la quatrième semaine la différence entre les lots est significative à (p<0,05), le lot Exp2 est le meilleur avec un poids moyen par poule de 1,723±0,107kg et pour le lot Exp1 de 1,707±0,097kg ; donc l'effet de la phytase est marqué par rapport aux témoins (1,637±0,048kg pour Tém1 et de 1,612±0.041pour Tém2). (Tableau 24)

A la fin de l'expérience(huitième semaine) la différence est très remarquable et statistiquement significative pour une valeur de la probabilité inférieure à 0,05. Les lots ayant reçu de la phytase (1,852±0,88 pour Exp2, 1,852±0,88 pour lot Exp1) restent meilleurs que les témoins (1,703±0.56 pour Tém2, 1,690±0.051pour Tém1). (Tableau 24)

Tableau 24: Effet de la ration à base de phytase sur le poids vif des poules

Poids en kg.	Lots				Signification
	Exp1	Tém1	Exp2	Tém2	
Début (j0)	1,523±0.164a	1,550±0.154a	1,569±0.215a	1524±0.185a	Ns
4 ^{ème} semaine	1,707±0.097a	1,637±0.048b	1,723±0.107a	1,612±0.041b	*
8 ^{ème} semaine	1,837±0.088a	1,694±0.051b	1,852±0.088a	1,673±0.056b	***

a, b les moyennes suivies des lettres différentes au sein d'une même ligne sont significativement différentes ; ns : non significatif p > 0,05 ; *** p<0,001. * : p< 0,05

1.1. Test homogénéité :

Les lots en début d'essai sont peu homogènes avec 65,7p.100 pour Exp1, 63,80p100 pour Tém1 et de 67,61p.100 pour Exp2 et Tém2 (tableau25).A la fin de l'expérience nous observons que les lots deviennent plus homogènes (Tableau 25), mais il ne semble pas qu'il y ait un quelconque lien avec l'effet de la phytase, aucun auteur n'ayant observé une éventuelle corrélation.

Tableau 25 : Effet de la ration en phytase sur l'homogénéité

	Exp1	T1	Exp2	T2
Début (1j)	65,71%	63,80%	67,61%	67,61%
Fin (56j)	98,05%	99,02%	95,09%	99,02%

1.2. Gain moyen quotidien

L'ajout de Phytase a permis d'améliorer significativement le GMQ. A la quatrième semaine nous observons une différence significative ($p < 0,001$) de GMQ des quatre lots de 6,57±2,39g pour Exp1, de 3,10±3,78g pour Tém1, de 5,50±3,85g pour Exp1 et de 3,14±5,14g pour Tém2, (Tableau 26)

La vitesse de croît dans les premières semaines est très rapide dans les lots ayant reçu de la phytase par rapport aux témoins (Figure15)

Les 28 derniers jours le GMQ est moyen pour les Exp1 (4,64±0,32g/j) et Exp2 (4,60±0,67g/j) alors que pour Tém2 (2,17±0,53g/j) et Tém1 (2,03±0,10 g/j) la vitesse de croît est très faible. (Tableau26, figure19)

Selon (INRA, 2010) le gain moyen quotidien de poids est très rapide dans la période d'élevage des poules nourries avec de la phytase dans leur ration. Ce résultat a été observé aussi par (Tânia Santos, 2011).

Tableau 26 : Effet de la ration en phytase sur le GMQ

GMQ (g/j)	Exp1	Tém1	Exp2	Tém2	Signification
1 ^{ère} j-28 ^{ème} j	6,57±2,39a	3,10±3,78c	5,50±3,85b	3,14±5,14b	*
28 ^{ème} j-56 ^{ème} j	4,64±0,32a	2,03±0,10b	4,60±0,67a	2,17±0,53b	*
GMQ moyen	5,60±1,35a	2,57±1,83d	5,05±2,26b	2,66±2,30c	***

a, b, c, d les moyennes suivies des lettres différentes au sein d'une même ligne sont significativement différentes ; * significatif $p < 0,05$; *** $p < 0,001$.

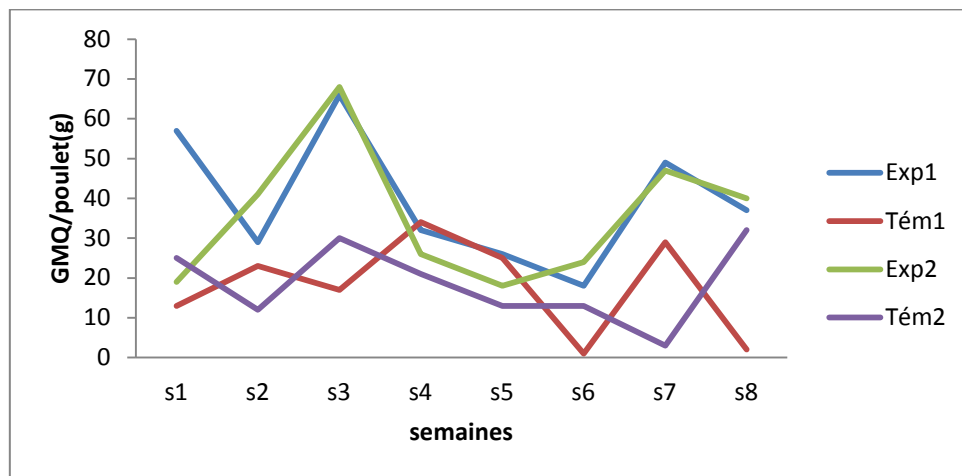


Figure 15: Le gain moyen quotidien par poule par semaine

2. Taux de ponte

Au cours de la 1^{ème} semaine la différence n'est pas significative dans tous les lots (89,57p.100 pour Exp1, 89,71p.100 pour Tém1, 89,42p.100 pour Exp2, et 89,85p.100 pour Tém2, mais au cours de la deuxième semaine nous observons que le Tém2 avec 90,14p.100 de ponte est meilleur que les autres (Exp1 avec 89,85p.100, et Exp2 avec 89,69p.100 et le Tém1 avec 89,65p.100. (**Tableau 27**).

A la troisième semaine, il est pour l'Exp1 de 90,10p.100 et pour le Tém2 de 90,06p.100 qui sont meilleurs par rapport à l'Exp2 avec 89,97p.100 et au Tém1 avec 89,69p.100. A la quatrième semaine l'Exp1 avec un taux de ponte 90,24p.100 est meilleur que les autres (Exp2 avec 89,97p.100, Tém2 avec 89,93p.100 et Tém1 avec 89,69p.100).

Le taux de ponte du Tém2 avec 89,79p.100 est faible par rapport aux autres Exp1 et Tém1 avec un taux de ponte de 90,15p.100 et de 90,10p.100 de ponte pour l'Exp2. A la sixième semaine il est pour l'Exp2 de 90,42p.100 et pour l'Exp1 de 90,29p.100 ; ils sont tous deux meilleurs que les témoins Tem1 avec 89,8 p.100 et Tém2 avec 89,79p.100. (**Figure 16**)

Au cours de la septième semaine la différence n'est pas significative avec des taux de ponte pour Exp2 de 90,42p.100, pour Exp1 de 90,15p.100, et pour Tém1 de 90,05p.100 et Tém2 de 90,01p.100. A la fin de l'expérience le lot Exp2 a un taux de ponte de 91,03p.100 et est meilleur que l'Exp1 avec 90,29p.100, que les Tém1 avec 89,91p.100 et Tém2 avec 89,87p.100 (**Tableau 27**).

Nos observations sont en accord avec les résultats de (**Petra et al., 2009b**) puisque la ration en phytase n'a pas permis d'améliorer le taux de ponte avec un dosage de phytase faible (600U/kg) . Le taux de mortalité influence sur le taux de ponte.

Mais les résultats de (INRA) cités par (**Agnes et al., 2007**) rapportent qu'il 'y a un effet de phytase sur le taux de ponte avec une utilisation de phytase dans tout le durée d'élevage. Ce résultat est rapporté aussi par (**Mellef et al., 2011**) qui le trouvent chez des poules pondeuses de lots supplémentés avec de fortes quantités d'enzyme (800 et 1 200 U/kg), résultats qui ont été significativement plus élevés que ceux observés dans le lot témoin et dans le lot supplémenté à 400 U/kg de phytase ($P < 0.01$).

Tableau 27: Effets de la phytase sur le taux de ponte

Les semaines	Exp1	Tém1	Exp2	Tém2	Signification
1 ^{ère} Semaine	89,57% a	89,71% a	89,42% a	89,85% a	ns
2 ^{ème} Semaine	89,85% b	89,65% b	89,69% b	90,14% a	*
3 ^{ème} Semaine	90,10% a	89,69% b	89,97% b	90,06% a	*
4 ^{ème} Semaine	90,24% a	89,69% bc	89,97% ab	89,93% b	*
5 ^{ème} Semaine	90,15% a	90,15% a	90,10% a	89,79% b	*
6 ^{ème} Semaine	90,29% a	89,87% b	90,42% a	89,83% b	***
7 ^{ème} Semaine	90,15% a	90,05% a	90,42% a	90,01% a	ns
8 ^{ème} Semaine	90,29% b	89,91% c	91,03% a	89,87% c	***

a, b, c les moyennes suivies des lettres différentes au sein d'une même ligne sont significativement différentes ; ns : non significatif $p > 0,05$; *** $p < 0,001$. * : $p < 0,05$

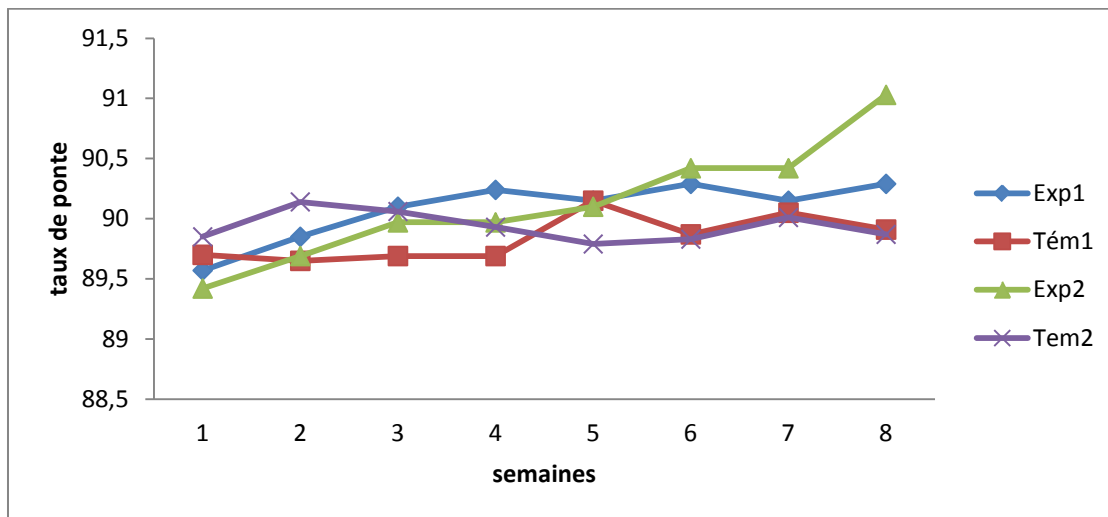


Figure 16: Evolution du taux de ponte par semaine

3. Taux de casse

L'ajout de phytase dans la ration a permis de diminuer le nombre des œufs cassés (tableau 28) donc on observe que chez le lot Exp2 avec un taux de casse de 0,05p.100 il est meilleur que l'Exp1 avec 0,11p.100 par rapport à la ration sans phytase qui a donné un taux de casse chez le Tém2 0,15p.100 et chez le Tém1 0,20p.100 (tableau 28)

Les résultats de (Agnes et al., 2007) arrivent à la même conclusion pour l'effet de supplémentation de la ration en phytase sur le taux de casse.

Tableau 28 : Effet de la supplémentation de la ration en phytase sur le taux de casse.

	Nbr œuf total	Nbr œuf cassé	Taux de casse (%)
Exp1	5229	6	0,11%
Tém1	5028	10	0,20%
Exp2	5225	3	0,05%
Tém2	5258	8	0,15%

4. Le poids d'œuf

La différence entre les lots est significative ($p < 0,07$). Pour le lot Tém2 le poids moyen de l'œuf est de $63,44 \pm 4,16$ g, il est meilleur que les autres (Tém1 $62,60 \pm 1,61$ g), (Exp2 $62,72 \pm 2,32$ g) et (Exp1 $62,51 \pm 1,64$ g) (tableau 29)

A la deuxième semaine, l'incorporation de la phytase a permis d'améliorer le poids d'œuf.

Le poids moyen des œufs du lot Exp1 et lot Exp2 sont meilleurs que ceux des témoins Tém2 et de Tém1 (**Figure 17**).

A la fin de l'expérience ; le poids moyen des œufs des lots qui sont nourris avec une ration contenant de la phytase était pour l'Exp2 de $66,61 \pm 2,3$ et pour l'Exp1 de $66,59 \pm 2,63$ g, ils se sont avérés meilleurs que pour les lots témoins Tém2 avec $63,48 \pm 2,45$ g et Tém1 avec $63,02 \pm 2,89$ g, et la différence est significative ($p < 0,0001$) (**Tableau 29**) et (**Figure 20**).

Dans l'expérience (**Agnes et al., 2007**) a observé que les enzymes ont une influence sur le poids d'œuf ce qui confirme le résultat que nous avons trouvé.

Tableau 29 : L'influence de la phytase sur le poids.

Poids g	Exp1	Tém1	Exp2	Tém2	Signification
Début (j0)	$62,51 \pm 1,64$ b	$62,60 \pm 1,61$ b	$62,72 \pm 2,32$ b	$63,44 \pm 4,16$ a	*
8 ^{ème} Semaine	$66,59 \pm 2,63$ a	$63,02 \pm 2,89$ b	$66,61 \pm 2,31$ a	$63,48 \pm 2,45$ b	***

*a, b les moyennes suivies des lettres différentes au sein d'une même ligne sont significativement différentes ; *** $p < 0,001$. * : $p < 0,05$*

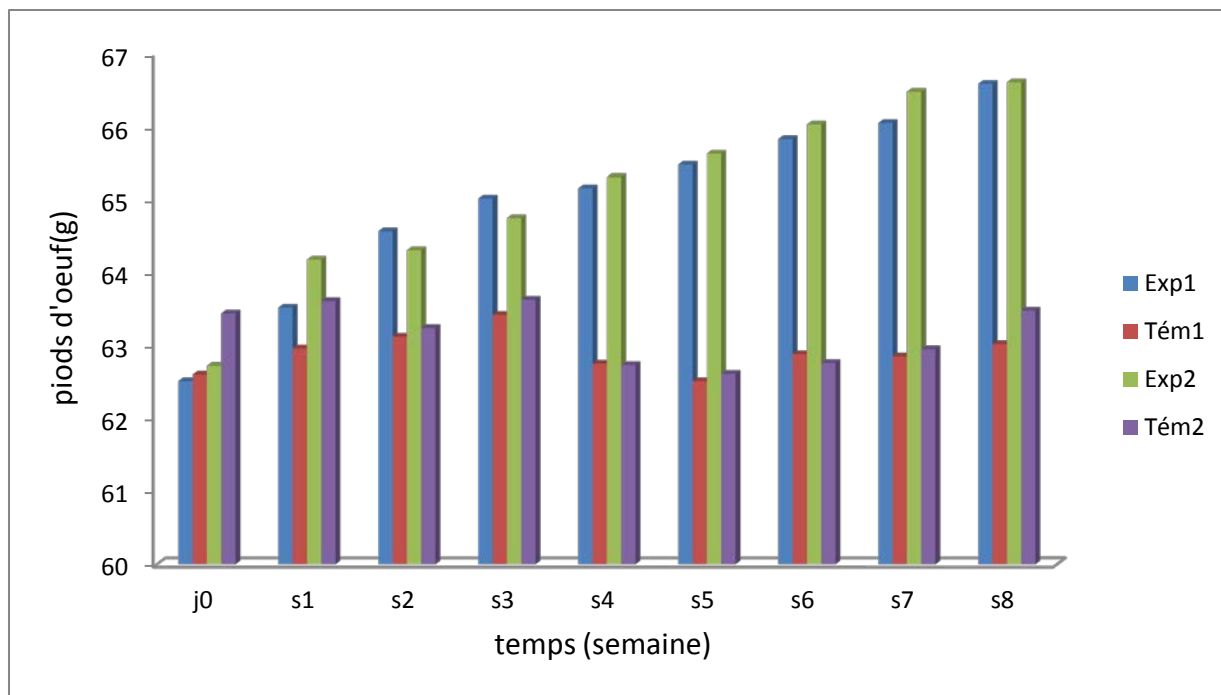


Figure 17 : Evolution du poids d'œuf par semaine

5. La masse d'œuf

La relation entre le poids d'œuf et la masse d'œuf semble établie, la phytase influencerait la masse d'œuf dans le temps (**Tableau 30**).

A la 1^{ère} semaine il n'y a pas une différence significative dans tous les lots, le lot Exp2 avec $57,38 \pm 2,20$ g est meilleur que les autres lots, le Tém2 avec $57,15 \pm 2,57$ g, l'Exp1 avec $56,89 \pm 2,16$ g et le Tém1 avec $56,23 \pm 4,10$ g.

A la 5^{ème} semaine, les expérimentaux sont meilleurs (Exp2 avec 59.35g et Exp1 avec 59.03g), par rapport aux témoins (Tém2 avec 56.57g, et Tém1 avec 56.35g).

Selon (**Mellef, et al., 2011**) en fonction de la quantité de phytase apportée dans l'aliment de base, les poules recevant 800 et 1 200 U/kg d'enzyme ont produit une masse d'œufs significativement plus élevée que celles du lot témoin, lors des semaines 37 et 38 ($P < 0.05$).

Tableau 30: Effet de la supplémentation enzymatique sur la masse d'œuf

Masse d'œuf g	Exp1	Tém1	Exp2	Tém2	Signification
1 ^{ère} semaine	$56,89 \pm 2,16$	$56,23 \pm 4,01$	$57,38 \pm 2,20$	$57,15 \pm 2,57$	ns
5 ^{ème} semaine	$59,03 \pm 3,50$	$56,35 \pm 1,67$	$59,13 \pm 1,19$	$56,57 \pm 3,36$	ns
8 ^{ème} semaine	$60,09 \pm 2,37$	$56,66 \pm 2,60$	$60,63 \pm 2,10$	$57,04 \pm 2,21$	ns

6. Poids de la coquille

Au début de l'expérience la différence entre les lots n'était pas significative ($p > 0,05$) ; mais à la cinquième semaine la différence entre les lots devient significative ($p < 0,0001$) ; la ration avec phytase influence donc le poids moyen de la coquille dans le cas des lots Exp1 ($6,58 \pm 0,30g$) et Exp2 ($6,54 \pm 0,24g$) qui sont meilleurs que les témoins Tém1 ($6,16 \pm 0,12 g$) et Tém2 ($6,05 \pm 0,16g$). (**Tableau31**)

Le poids de la coquille des lots qui reçoivent la ration à base de phytase ont de meilleurs poids de coquille (Exp1 de $6,60 \pm 0,35g$) et (Exp2 de $6,59 \pm 0,28 g$) que les lots des témoins (Tém1 $6,14 \pm 0,14g$) et Tém2 ($6,10 \pm 0,11 g$) (tableau 31) .ce résultat a été observé dans l'expérience de (**Petra et al., 2009b**) et l'expérience de (INRA.) cités par (**Agnes et al., 2007**). L'utilisation de phytase exogène dans les aliments des volailles permet une réduction des rejets en phosphore tout en maintenant ou en améliorant les performances de croissance et la robustesse des os (**Debicki-Garnier et al., 2007**), ce qui conforte la disponibilité du complexe phosphocalcique au profit de la coquille.

Tableau 31 : Effet de la phytase sur le poids de la coquille.

poids de coquille gr.	Exp1	Tém1	Exp2	Tém2	Signification
Début (j0)	$6.07 \pm 0.09a$	$6.06 \pm 0.10a$	$6.08 \pm 0.13a$	$6.10 \pm 0.15a$	ns
5 ^{ème} semaine	$6.58 \pm 0.30a$	$6.16 \pm 0.12b$	$6.54 \pm 0.24a$	$6.05 \pm 0.16b$	***
8 ^{ème} semaine	$6.60 \pm 0.35a$	$6.14 \pm 0.14b$	$6.59 \pm 0.28a$	$6.10 \pm 0.11b$	***

*a, b: Les moyennes suivies des lettres différentes au sein d'une même ligne sont significativement différentes ; ns : non significatif $p > 0,05$; *** $p < 0,001$.*

7. Rapport coquille / œuf

Le rapport coquille / œuf est un indicateur de la fragilité des œufs ; dans les lots de l'expérience le rapport poids de la coquille / poids d'œuf est élevé par rapport aux lots des témoins (**Figure 18**). Malgré que le poids d'œuf est le même (par exemple le poids d'œuf est de $65,20g$) le rapport coquille / œuf du lot Exp2 est $10,27p.100$ et Exp1 de $10,12p.100$ sont 1 meilleurs que les témoins avec un rapport coquille / œuf pour Tém1 et Tém2 $8,74p.100$ (**Tableau 32**).

Donc, il y a un effet supplémentation de la ration en phytase sur le rapport coquille / œuf ce résultat a été aussi observé dans une expérience du (CERN et INRA) citée par (**Agnes et al., 2007**) les poules recevaient un régime à base de maïs et de tourteau de soja, l'index de

coquille ainsi que l'épaisseur de la coquille ont été significativement augmentés par la supplémentation en enzyme de phytase.

Tableau 32: Effet de la phytase sur le rapport coquille / œuf

Poids d'œuf g	Exp1		Tém1		Exp2		Tém2	
	Pd de coquille g	Rapport œuf/coquille %	Pd de coquille g	Rapport œuf/coquille%	Pd de coquille g	Rapport œuf/coquille%	Pd de coquille g	Rapport œuf/coquille%
62,50	6,40	10,24	5,20	08,32	6,10	09,76	5,80	09,28
63,30	6,10	09,63	5,30	08,37	6,30	09,95	5,50	08,68
64,40	6,40	09,94	5,20	08,07	6,60	10,24	5,90	09,16
65,20	6,60	10,12	5,70	08,74	6,70	10,27	5,70	08,74
66,30	6,90	10,40	6,10	09,20	6,80	10,25	5,90	08,90

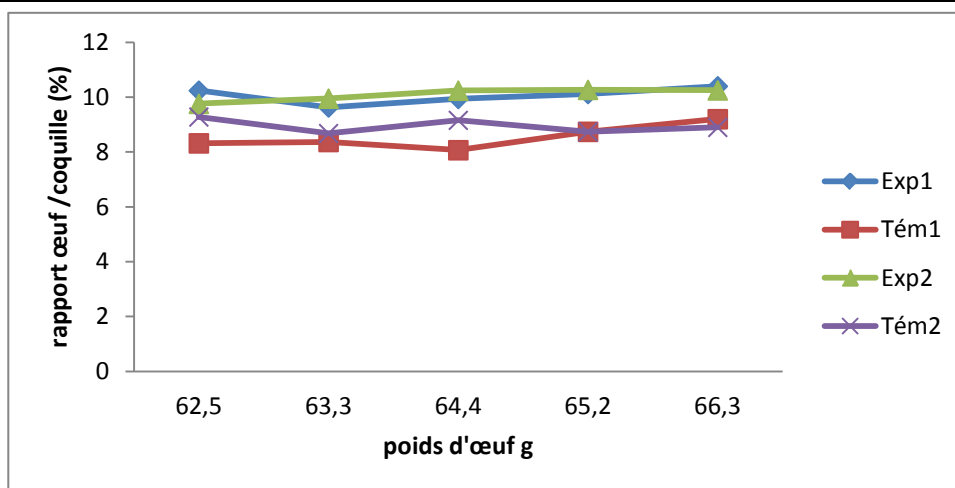


Figure 18 : Rapport poids de la coquille / poids d'œuf

8. Consommation alimentaire et Indice de consommation

8.1. Consommation alimentaire individuelle

Les phytases n'ont pas permis de diminuer la consommation alimentaire dans les premiers jours de l'expérimentation ; les lots ont ingéré la même quantité d'aliment par poule (125,16g pour Exp1, 125,80 pour Tém1, 126,04 pour Tém2 et 126,60 pour Exp2) (**Tableau 33**). Mais progressivement tout au long de notre expérimentation, on a noté que la consommation alimentaire individuelle a diminué (**Tableau 33**) dans les lots recevant de la phytase.

Généralement les consommations moyennes quotidiennes(CMQ) d'aliment dans les lots des expériences sont inférieures à celles des témoins (**Figure 19**). Les CMQ totales des

lots des expériences Exp1 avec 114.11g/j et Exp2 avec 115.21g/j sont inférieures à celles des témoins Tém1 avec 119.90g/j et Tém2 avec 121.58g/j. (**Tableau 33**).

Selon (**Pointillart, 1994**) la ration est importante pour diminuer la quantité d'aliment ingérée par poule. Mais dans l'expérience de (**Perney et al., 1993**) ont observé qu'aux doses faibles, les phytases microbiennes n'influencent pas significativement la consommation alimentaire. Et selon (**Corpen, 2006**) L'utilisation de certaines matières premières, d'acides aminés de synthèse ou d'enzymes telles que les phytases la mise en œuvre de traitements technologiques particuliers, l'adoption d'une alimentation multiphase ont permis de diminuer les quantités ingérées, d'améliorer la digestibilité de la matière organique et l'assimilation des nutriments, alors que pour un autre auteur, l'ingéré alimentaire tendait à décroître en fonction de la quantité de phytase ajoutée à la ration (**Mellef et al., 2011**).

Tableau 33: Eeffet de phytase sur la consommation journalière d'aliment par poule (g/j/poule).

	Exp1	Tém1	Exp2	Tém2	signification
1ere Semaine	125.16a	125.80a	126.60a	126.04a	ns
2eme Semaine	118.51a	119.05a	118.12a	123.00b	*
3eme Semaine	114.72a	119.75b	112.90a	120.43b	
4eme Semaine	107.32a	114.10b	106.01a	113.22b	
5eme Semaine	110.94a	114.66b	110.68a	112.76b	
6eme Semaine	109.61a	116.20c	108.81a	114.58b	
7eme Semaine	110.95a	118.91b	110.06a	118.24b	
8eme Semaine	109.59a	119.26b	108.88a	118.92b	
CMQ	114.11a	119.90b	115.21a	121.58c	***

*a, b, c: Les moyennes suivies des lettres différentes au sein d'une même ligne sont significativement différentes ; ns : non significatif $p > 0,05$; *** $p < 0,001$. * : $p < 0,05$*

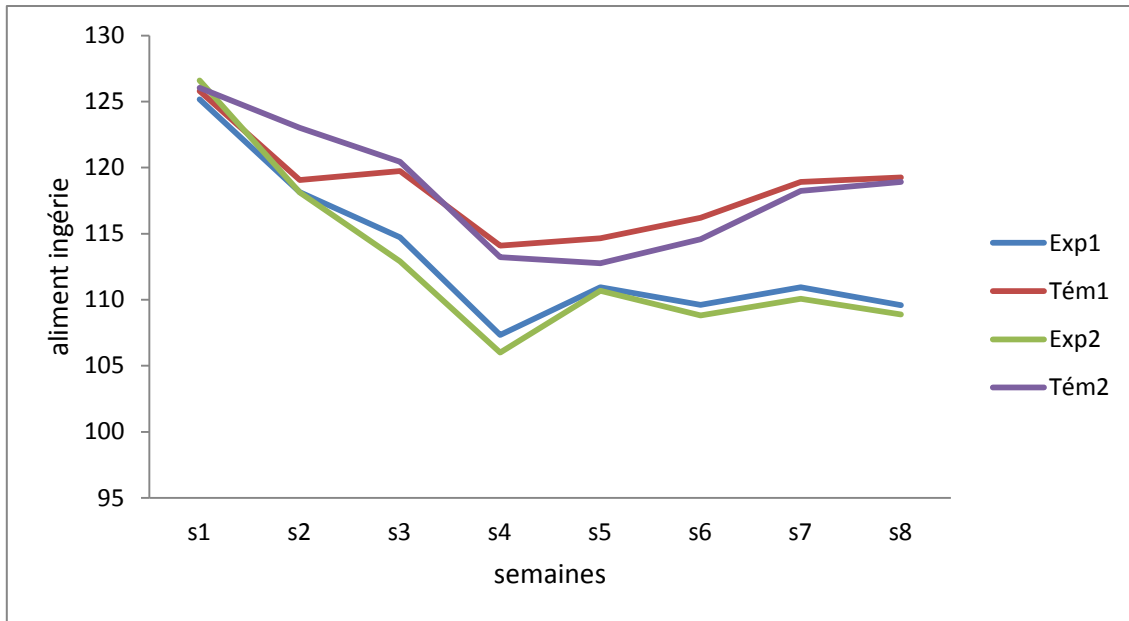


Figure 19 : Effet de la supplémentation du régime en phytase sur la consommation alimentaire individuelle quotidienne

8.2. Indice de consommation

Après la 1^{ère} semaine d'utilisation de la phytase, l'indice de consommation (IC est généralement le même Exp1, Exp2, Tém2 est 2,20 et pour Tém1 est 2,23) (**Tableau 34 et Figure 20**).

Après la quatrième semaine l'indice de consommation pour les lots expérimentaux a diminué à IC 1,80 pour Exp2 et à 1,82 pour Exp1 a la fin de l'expérience, par rapport aux lots témoins qui ont varié entre 2,03-2,11 pour Tém1 et 1,91-2,15 pour Tém2 (**Tableau 34 et Figure 20**).

Ce résultat a été observé par d'autres auteurs comme (**Petra et al., 2009b**) et (**Agnes et al., 2007**), l'ajout de phytase dans la ration de volaille influence positivement l'indice de consommation. (**Debicki-Garnier et al., 2007**).

Tableau 34 : Effet de la phytase sur l'indice de consommation

	Exp1	Tém1	Exp2	Tém2
1 ^{ère} semaine	2.20	2.23	2.20	2.20
2 ^{ème} semaine	2.04	2.11	2.05	2.15
3 ^{ème} semaine	1.96	2.10	1.94	2.10
4 ^{ème} semaine	1.83	2.02	1.80	2.01
5 ^{ème} semaine	1.88	2.03	1.87	1.91
6 ^{ème} semaine	1.84	2.03	1.82	1.98
7 ^{ème} semaine	1.86	2.10	1.83	2.09
8 ^{ème} semaine	1.82	2.10	1.80	2.08

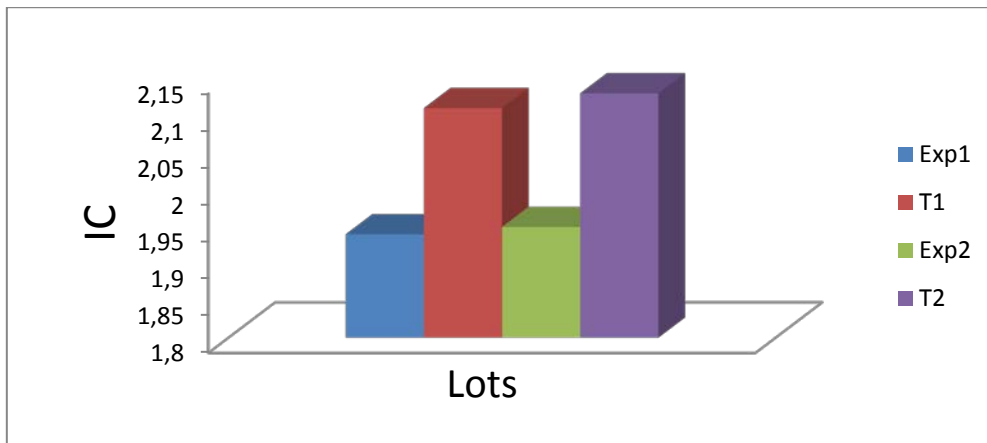


Figure 20: Effet de phytase sur l'indice de consommation

8.3. La relation entre la consommation alimentaire et l'indice de consommation

L'indice consommation est un des critères de l'estimation des performances zootechniques d'un bon élevage de poules. Dans la (Figure 21) nous observons que la diminution de consommation alimentaire a diminué l'indice de consommation, les lots qui ont reçu les rations à base de phytase ont un indice de consommation plus bas par rapport aux lots témoins malgré que le niveau de consommation alimentaire est resté le même.

Donc le niveau alimentaire est un critère pour avoir un bon indice de consommation ($IC < 2$) ; dans la (Figure 21) on trouve par exemple dans le lot Exp1 que la consommation est de 110,68g donnée un indice de consommation plus grand à indice de consommation lorsque le niveau de consommation est de 106,01gr.

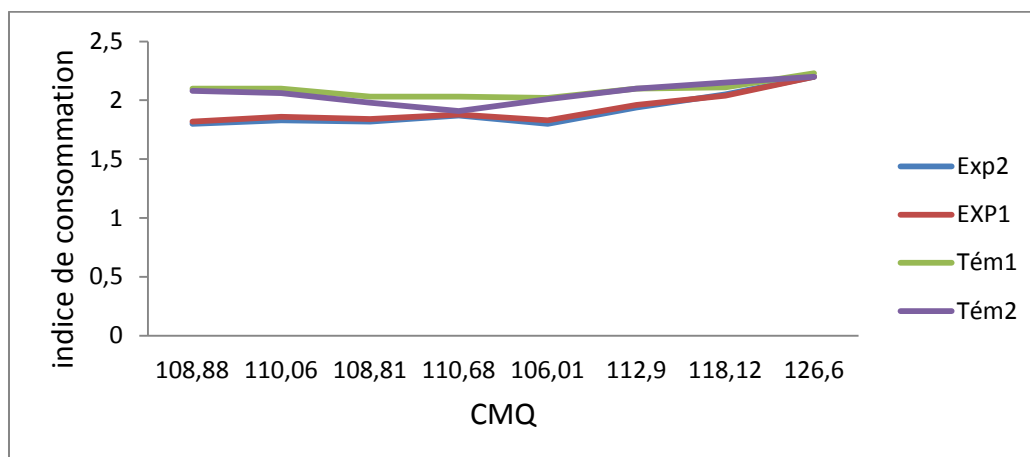


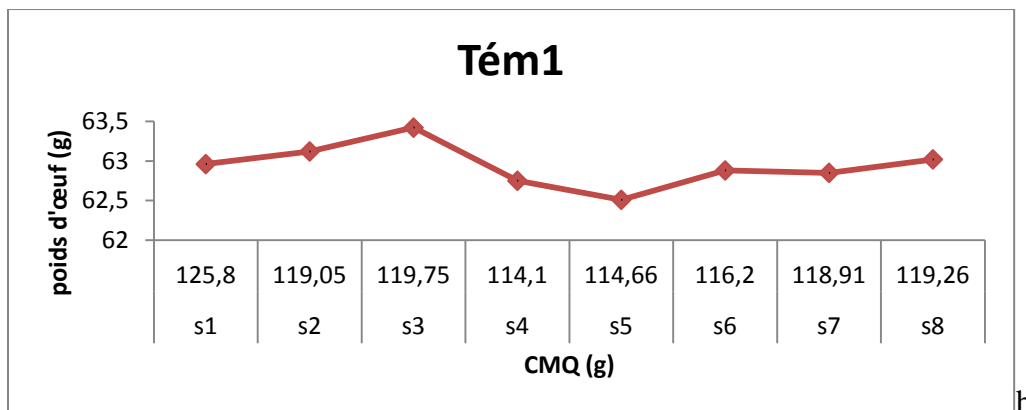
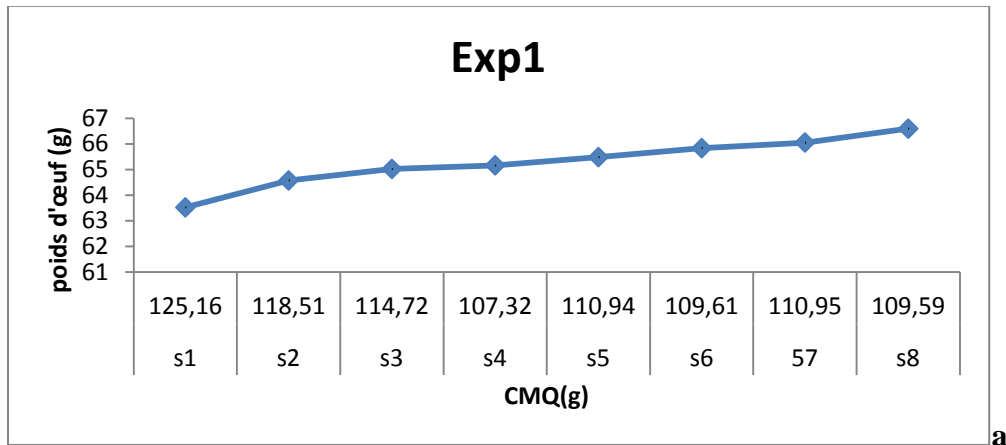
Figure 21 : La relation entre la consommation moyenne quotidienne d'aliment par rapport à l'indice de consommation

8.4. La relation entre la consommation moyenne quotidienne d'aliment par rapport au poids moyen de l'œuf.

La relation entre la consommation d'aliment et le poids d'œuf est relation grossissant quand le CMQ augment, le poids d'œuf augment et le contraires est correcte.

Dans les lots expérimentaux nous observons que cette relation n'est pas toujours correcte par exemple dans le lot Exp1 , la consommation moyenne quotidienne à la huitième semaine est de 109.59 gr. et est inférieure à la consommation moyenne quotidienne dans la deuxième semaine soit 118.51 gr. mais le poids d'œuf à la huitième semaine avec 66.5 gr. est supérieur au poids d'œuf de la deuxième semaine avec 63.5 gr.(Figure 22 a) .

Donc dans cette figure on peut dit que la phytase joue un rôle important dans le poids d'œuf.



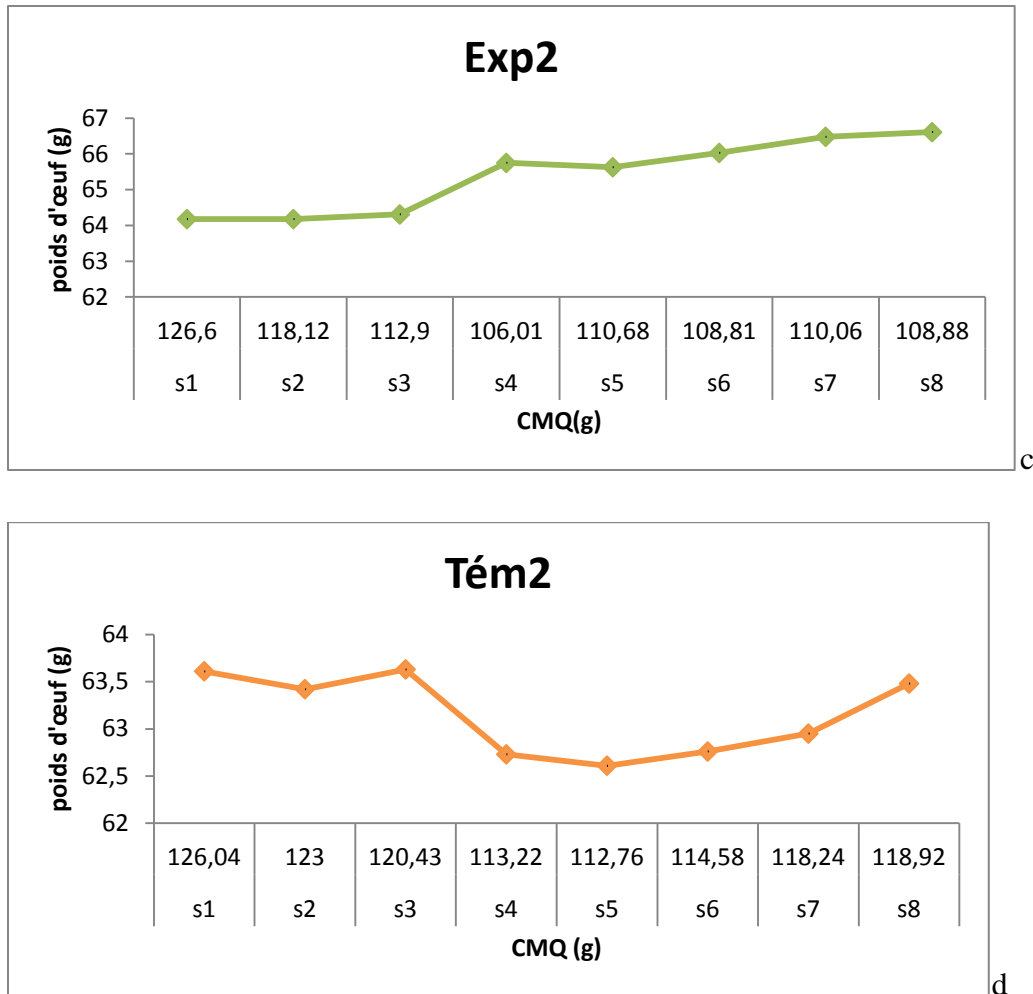


Figure 22: La relation entre la consommation moyenne quotidienne par rapport au poids d'œuf

9. La mortalité

Dans début de l'expérience le nombre de sujets est de 420 poulet (105 sujets / lot). Le lot Tém1 a un taux de mortalité de 3.80% avec quatre poules mortes, le deuxième lot qu'un taux de mortalité élevé est Exp2 de 2.85% avec trois poules mortes .et les lots Exp1 et Tém2 a un même taux de mortalité de 1.90% avec deux poules sont mortes. (**Tableau 35**)

Donc il n'y pas d'effet de mortalité dans l'expérience mais on nous observe que (**Mellef et al., 2011**) dit que le taux de mortalité variations ont été particulièrement faibles lorsque les oiseaux étaient supplémentés par 800 et 1 200 U/kg de phytase

Tableau 35: Effet de ration en phytase sur le taux de mortalité

	Exp1	Tém1	Exp1	Tém2
Nbr poules vivantes	103	101	102	103
Nbr poules mortes	2	4	3	2
Taux de mortalité %	1,90	3,80	2,85	1,90

10. La couleur des œufs

Dans cette expérience nous observons que la couleur d'œuf a changé au cours de l'essai pour les lots expérimentaux (Exp1, Exp2) par rapport aux lots témoins (Tém1, Tém2) ou il n'y a eu aucun changement observé sur la couleur .

La couleur est la même au début de l'essai (**Photo 5**) ; la couleur des œufs n'est pas homogène dans tous les lots (Exp1, Exp2, Tém1 et Tém2)

Mais après la deuxième semaine nous avons observé que la couleur des lots Exp1 et Exp2 a été changée (**Photo 5**) et est plus homogène que les Tém1 et Tém2 qui ne sont pas modifiés. Cette remarque nous a conduit à estimer qu'il y a un effet de phytase sur la couleur de l'œuf



Photo 5: Effet de phytase sur la couleur des œufs

11. La chute de plumes

Au début de l'expérience, nous avons trouvé que la plupart des poules ont une perte de plumes, mais avec le passage du temps (**Photo 6a**), nous avons constaté que chez les poulets des expériences Exp1 et Exp2 les plumes se sont développées de manière remarquable (**Photo 6b**) par rapport aux témoins Tém1 et Tém2.

Le manque des acides aminés donnée une perte de plumes chez la poule mais l'hydrolyse de l'acide phytique par la phytase donnée des acides aminés est même des minéraux que remplacé se manque que nous observons dans les lots Exp1 et Exp2.



Photo 6 : Effet d'utilisation de phytase sur la chute des plumes

12. Etude économique

Dans cette analyse, les coûts de l'aliment ont été comparés aux prix de vente d'œuf de chaque formule, en calculant le prix du kilo d'aliment.

Le prix de revient de l'œuf pour les lots ayant reçu la phytase (Exp1 de 4,96 DA et 4,95 DA pour Exp2) est inférieur à celui des lots témoins (Tém1 a pris de 5,27 DA et 5,33 DA pour Tém2). Si on calcule le bénéfice de l'unité (SPA Avitedj) qui produit de 23760 œufs par jour on trouve 80071,2 DA pour le lot Exp1, 80308,8 DA pour le lot Exp2, 72705,6 DA pour le lot Tém1 et 71280 DA pour le lot Tém2. La comparaison entre les formules avec phytase et les formules sans phytase donne une marge de 7365,6 DA par jour minimum. (**Tableau 36**)

Le prix du kilo d'aliment pour les formules avec phytase est de 31.24DA et de 31,70DA pour les formules sans phytase (on suppose que les autres charges sont de 10% soit 1 DA/œuf)

Tableau 36 : Etude économique de l'effet de la supplémentation des phytases dans l'alimentation des poulets

	Exp1	Tém1	Exp2	Tém2
CMQ g/j	114,11	119,90	115,21	121,58
Taux de ponte/j	0,90	0,89	0,91	0,89
CMQ pour un œuf g/œuf	126,78	134,71	126,60	136,60
Pris (DA)	3,96	4,27	3,95	4,33
Prix de revient d'œuf DA	4,96	5,27	4,95	5,33
Pris d'œuf DA	8,33	8,33	8,33	8,33
Marge bénéficiaire	3,37	3,06	3,38	3,00

CONCLUSION

CONCLUSION

Dans notre étude nous avons testé l'efficacité de la phytase «Ronozyme »issue de la souche bactérienne : « *aspergillus oryzae*», comme additif alimentaire pour les poules pondeuses, sur certains paramètres zootechniques, sur le profit et sur le prix de revient de l'aliment durant une durée de 56 jours en phase de ponte.

A travers cette étude, il ressort que l'incorporation de la phytase dans l'alimentation des poules pondeuses a la dose de 0.06 kg/1000kg d'aliment, est d'un intérêt appréciable, sur les plans zootechnique et économique.

En tenant compte principalement du coût de l'aliment, l'utilisation de phytase a montré une amélioration des profits de production.

- ✓ Nous avons remarqué que la consommation quotidienne des lots expérimentaux (114,11g pour Exp1 et 115,21g pour Exp2) était moindre que chez les poules des lots témoins (119,90g pour Tém1 et de 121,58g pour Tém2).
- ✓ Nous avons aussi trouvé que le poids de l'œuf des poules qui sont nourries avec la phytase ($60,10 \pm 2,37$ g pour Exp1 et $60,63 \pm 2,10$ g pour Exp2) sont meilleur et plus élevés que chez les poules des lots témoins ($56,66 \pm 4,59$ g pour Tém1 et $57,04 \pm 2,21$ g pour Tém2).
- ✓ En ce qui concerne la coquille d'œuf, nous avons trouvé que, dans les lots de témoins (Tém1 avec $6,14 \pm 0,14$ g et de $6,10 \pm 0,11$ g pour Tém2) la dureté de la coquille est moindre que dans les lots des expériences avec $6,60 \pm 0,35$ g pour Exp1 et $6,59 \pm 0,28$ g pour Exp2.
- ✓ Les résultats de l'expérience ont montré que l'indice de consommation pour les poules des témoins (Tém1 est 2,10 et 2,08 pour Tém2) est plus élevé que chez les lots expérimentaux (1,82 pour Exp1 et 1,80 pour Exp2).

En recommandations :

Utilisation de phytase réduit l'utilisation du phosphore minéral qui a un impact sur l'économie en raison de son prix élevé donc il réduit la facture des importations. La phytase a un rôle dans la réduction de la pollution provoquée par les rejets de l'utilisation de phosphore bicalcique.

D'autre part l'utilisation de la phytase a un effet positif sur les paramètres zootechniques par exemple : La phytase réduit l'indice de consommation et aussi augmente la rigidité de la coquille.

Pour cela, il est recommandé une généralisation de l'utilisation de la phytase qui permet les avantages ci-dessus étudiés. D'autres études peuvent mesurer l'influence de différents niveaux de phytase sur la croissance des poules, afin de déterminer la dose optimale pouvant entraîner dans nos conditions, une meilleure utilisation du phosphore et du calcium organiques des matières premières locales.

**REFERENCE
BIBLIOGRAPHIQUE**

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ADEM ,1988. Substitution du tourteau de soja par féverole ou le poids dans le régime de la poule pondeuse ISA Brown .Analyse des performances sur un cycle complet.

AGNES MORI, FRANCESCH MARIA, GAUTRON JOËL , GERAERT PIERRE-ANDRE 2007.Les enzymes chez la pondeuse : des benefices au-dela de la valeur nutritionnelle septièmes journées de la recherche avicole ,tours 28 et 29 mars 2007

ALAMARGOT J., 1982. L'appareil digestif et ses annexes (15-32). In : Manuel d'anatomie et d'autopsie aviaires. Maisons Alfort : Edition du point du vétérinaire.- 136p.

ANSELME B., 1987. L'aliment composé pour volaille au Sénégal: situation actuelle, contribution à son amélioration par une meilleure valorisation des ressources nutritionnelles locales. Thèse : Méd. Vét. : Toulouse; 87.

BARLET J.P., DAVICO M. J., COXAM V., 1995. Physiologie de l'absorption intestinale du phosphore chez l'animal. *Reprod. Nutr. Dev.* **35** : 475-489.

BECKERS Y. et PIRON F., 2009. Utilisation des enzymes exogènes en alimentation porcine et avicole. Journée des Productions porcines et avicoles, 14 octobre, Espace Senghor-Gembloux, Belgique. 45- 53.

BERNADET M.D., MAGNIN M., GUY G., NYS Y., 2006. Effet du niveau de supplémentation de 3-phytase dans l'alimentation des canards mulards mâles sur les rejets phosphores. Journées de la Recherche sur les Palmipèdes à Foie Gras, 18-19 octobre, Arcachon, France. 110-113.

BEUTLER A. L., 2009.The efficacy of quantum phytase in laying hens fed corn-soybean meal based diets. Master of Science: Department of Animal and Poultry Science, University of Saskatchewan: Saskatoon, Canada. *Biological Sciences*, **5**: 42 62.

BLEUKX W., 2005. Production et qualité nutritionnelle des phosphates alimentaires. *INRA Prod. Anim.*, **18**: 169-173.

BLUM.J.CA ,1984. L'alimentation monogastrique pore, lapin, volailles. INRA. Paris

BOITA A et VERGER ; 1983. Guide pratique d'éleveur des oiseaux de basse-cour et des lapines, Ed Solar, Paris, p22.

CASTILLON P., 2005. Le phosphore : sources, flux et rôles pour la production végétale et l'eutrophisation. *INRA Prod. Anim.*, **18**: 153-158.

- CHAPOUTOT P. et PRESSEDA F., 2005.** Conséquences des nouveaux «systèmes d'unités phosphore» sur la formulation des régimes. *INRA Prod. Anim.*, **18** : 209-228.
- CORPEN, 2006.** Comité d'orientation pour des pratiques agricoles respectueuses de l'environnement influence de la conduite alimentaire et du mode de logement des animaux sur la nature et la gestion des déjections.
- COUAILLER JULIE, 1989.** Nutrition et alimentation des animaux d'élevage 2^{ème} édition INRA 1989 p28-29
- COURTOIS J., 1947.** Recherches sur la phytase: III. Essais de séparation de l'activité glycérophosphatasique et de l'activité phytasique du son de blé. *Bioch. Biophys. Acta.*, **1**: 270-277.
- COURTOIS J., 1947.** Recherches sur la phytase: III. Essais de séparation de l'activité glycérophosphatasique et de l'activité phytasique du son de blé. *Bioch. Biophys. Acta.*, **1**: 270 277.
- COWIESON A., ACAMOVIC T., BEDFORD M.R., 2006.** Supplementation of Corn–Soy-Based Diets with an *Eschericia coli*-Derived Phytase: Effects on Broiler Chick Performance and the Digestibility of Amino Acids and Metabolizability of Minerals and Energy. *Poult. Sci.*, **85**:1389–1397.
- COWIESON A., PERON A., DEBICKI-GARNIER A. M., MESSENGER B., CROSS H.S., DEBIEC H., PETERLIK M., 1990.** Mechanism and regulation of intestinal phosphate absorption. *Miner. Electrolyte Metab.* **16**: 115-124.
- DAYON J. et ARBELOT B., 1997.** Guide D'élevage des volailles au Sénégal.-Dakar : ISRA LNERV.-122p.
- DEBICKI-GARNIER ANNE-MARIE, SANDS JASON, PERON ALEXANDRE, MESSENGER BERTRAND 2007.** Efficacité et mode d'action d'une nouvelle phytase en alimentation des volailles septièmes journées de la recherche avicole, tours 28 et 29 mars 2007.
- DROGOUL C., GADOUD R., JOSEPH M.M., JUSSIAU R., 2004.** Nutrition et alimentation des animaux d'élevage.- Paris: Educagri editions.- 312 p.
- ECKHOUT W. et DE PAEPE M., 1992.** Phytase de blé, phytase microbienne et digestibilité apparente du phosphore d'un aliment simple pour porcelets. *Rev. Agric.*, **45**: 195 207.

- EL-GINDY A.A., IBRAHIM Z.M., ALI U.F., EL-MAHDY O.M., 2009.** Extracellular Phytase Production by Solid-state Cultures of *Malbranchea sulfurea* and *Aspergillus Niveus* on Cost-effective Medium. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, **5**: 42-62.
- ERDMAN J. W., 1979.** Oilseed phytates: Nutritional implication. *J. Am. Oil. Chem. Soc.*, **56**: 736-741.
- FERRANDO R., 1964.** Les bases de l'alimentation.-Paris : Vigot et Frères.- 388 p.
- FOURDIN A., 1984.** Valorisation par la phytase du phosphore phytique des grains : Introduction bibliographique sur la phytase. Mémoire DEA: Sciences Alimentaires, Paris XIENSIA Massy.
- GHISHAN F. K. 1992.** Phosphate transport by plasma membranes of enterocytes during development: role of 1,25- dihydroxycholecalciferol. *Am. J. Clin. Nutr.*, **55**: 873-877.
- GOLOVAN S.P., MEIDINGER R.G., AJAKAIYE A., COTTRILL M., GUEGUEN L. et PEREZ J. M., 1981.** A re-evaluation of recommended dietary allowances of calcium and phosphorus for pigs. *Proc. Nutr. Soc.*, **40** : 273-278.
- GOLOVAN S.P., MEIDINGER R.G., AJAKAIYE A., COTTRILL M., WIEDERKEHR M.Z., BARNEY D.J., PLANTE C., POLLARD J.W., FAN M.Z., HAYES M.A., LAURSEN J., HJORTH J.P., HACKER R R., PHILLIPS J. R., FORSBERG C.W., 2001.** Pigs expressing salivary phytase produce low-phosphorus manure. *Nature Biotech.*, **19**: 741-745.
- GRYNSPAN F. et CHERYAN M., 1983.** Calcium phytate: Effect of pH and molar ratio on in vitro solubility. *JAACS*, **60**: 1761- 1764.
- GUEGUEN L., BESANON P., RENAT A., 1968.** Utilisation digestive, cinétique de l'absorption et efficacité de la rétention du phosphore phytique chez le porc. *Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys.*, **8**: 273-280.
- HAN J. C., YANG X. D., QU H. X., XU M., ZHANG T., LI W. L., YAO J. H., LIU Y. R., SHI B. J., ZHOUAN Z. F., FENG X. Y., 2009.** Evaluation of equivalency values of microbial phytase to inorganic phosphorus in 22-to 42-day-old broilers. *J. appl. Poult. Res.*, **18** : 707-715.
- HASSOUNI H., ISMAILI-ALAOUI M., AUGUR C., GAIME-PERRAUD I., CHEHEB M., ROUSSOS S., 2006.** Production de phytase par les champignons filamenteux thermophiles cultivés en FMS. Séminaire de recherche sur les biotechnologies appliquées en agriculture et en industries agro-alimentaires : 4 au 5 avril, IAV Hassan II, Maroc.

INRA ,1989 . Alimentation des animaux monogastriques : porc, lapin, volailles 2^e édition
INRA 1989 p26-27.

INRA, 1991. Alimentation des animaux monogastriques: porc, lapin, volailles. Ed. INRA,
Paris.

INRA, 1991. L'alimentation des animaux monogastriques : porc, lapin, volailles.-2ème éd.-
Paris : INRA.- 282 p.

INRA, 2002 .Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées
aux animaux d'élevage'' INRA éditions 2002.

INRA. 2010. Tours, recherches avicoles, frpo ur83, 37380 Nouzilly, France.

INRA-AFZ, 2004. Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières
destinées aux animaux d'élevage : porcs, volailles, bovins, ovins, caprins, lapins, chevaux,
poissons.- 2ème éd.- Paris : INRA.- 301p.

IQBAL T. H., LEWIS K. O., COOPER B. T., 1994.Phytase activity in the human and rat
small intestine. *GUT*, **35**: 1233-1236.

ISA, 2005. Guide d'élevage pondeuse, p 5, 17, 19, 20,23.

ISA, 2007. Alimentation calcique des pondeuses commerciales

ISA, 2011. (ISA BROWN) Guide nutritionnel des pondeuses commerciales.

JOLY, 1989.Technologie d'élevage, des besoins nutritionnels de la pondeuse ISA
Brown « œuf de consommation aviculteur N°505 pp4-66

JONDREVILLE C. et DOURMAD J.Y., 2005. Le phosphore dans la nutrition des porcs.
INRA Prod. Anim., **18**: 183-192

KEMME P.A., JONGBLOED A.W., VAN DER KLIS J.D., 1996. The impact of microbial
phytase on the nutrition of monogastrics and the environment.

KESHAVARZ K, 2000. Non phytate phosphorus requirement of laying hens with and
without phytase on a phase feeding program. *Poult. Sci.*, 2000, 79, 748-763.

KIM Y. O., KIM H. K., BAE K. S., YU J. H., OH T. K., 1998. Purification and properties
of a thermostable phytase from *Bacillus* sp. DS11. *Enzyme Microbiol. Technol.*, **22**, 2-7.

KOLB E., 1975. Physiologie des animaux domestiques.- Paris : Vigot-Frères.- 974 p.

LAN G.Q., ABDULLAH N., JALALUDIN S., HO Y.W., 2002. Efficacy of supplementation of a phytase-producing bacterial culture on the performance and nutrient use of broiler chickens fed corn-soybean meal diets. *Poult Sci.*, **8**:1522-1532.

LARBIER M, LECLERCQ B., 1992. Nutrition et alimentation des volailles.- Paris : INRA.355 p.

LARBIER. M, LECLERCQ .B ,1989 . Nutrition et alimentation des volailles 1^{ère} édition -9-36-213 p.

LESCOAT P., TRAVEL A., NYS Y., 2005. Lois de réponses des volailles de chair à l'apport de phosphore. *INRA, Prod. Anim.*, **18**: 193-201.

LÉTOURNEAU-MONTMINY M-P., JONDREVILLE C., LESCOAT P., MESCHY F., POMAR C., DOURMAD J-Y., WILFART A., VAN MILGEN J., SAUVANT D., 2006. Modélisation du métabolisme phosphocalcique chez le porc charcutier : devenir du phosphore ingéré dans les contenus digestifs. Journées Recherche Porcine, 01 au 02 février, paris, France. 201-208.

MABALO K., 1993. Influence de l'apport qualitatif sur la consommation alimentaire, le métabolisme phosphocalcique et les performances de croissance du poulet de chair en milieu sahélien. Thèse : Méd. Vét. : Dakar, 20.

MADR, 2012. Avant projet d'une charte de qualité et pacte de croissance encadrant et engageant les activités des professionnels de la filière avicole pour la structuration et la modernisation de l'aviculture nationale

MAENZ D. D., HENRY L., CLASSEN H.L., 1998. Phytase Activity in the Small Intestinal Brush Border Membrane of the Chicken. *Poult. Sci.*, **77**: 557-563.

MELLEF, A. DRIDI, A. AGREBI, O. BELHAJ 2011 : Effets de l'ajout de phytase dans la ration alimentaire sur les performances de ponte des poules pondeuses *Revue Méd. Vét.*, 2011, **162**, 6, 304-309.

MESCHY F. et RAMIREZ-PEREZ A.H., 2005. Evolutions récentes des recommandations d'apport en phosphore pour les ruminants. *INRA, Prod. Anim.*, **18** : 175-182.

NARCY A., LETOURNEAU-MONTMINY M. P., MAGNIN M., NYS Y., JONDREVILLE C., 2009. Voies nutritionnelles d'économie de phosphore chez le poulet. Journée de la Recherche Avicole, 25 et 26 Mars, Saint Malo, France. 102-109.

NICKEL R., SCHUMMER A., SEIFERLE E., SILLER W.G. L., WIGHT P. A., 1977 *Anatomy of the Domestic Birds.*- Berlin, Hambourg: Verlag Paul Parey.- 202 p.

NRC, 1994. NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC), Nutrient requirements of poultry. Ninth revised edition. National Academy Press, Washington, D C., 1994.

NYS Y., 1979. Influence de l'heure d'un repas unique sur la rétention de Ca, K et P et sur l'index de coquille chez la poule pondeuse. *Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys.*, **19**: 983-988.

PAILLARD F. et PAILLARD M., 1992. Bilan de phosphate et phosphatémie. Physiologie rénale et désordres hydroélectrolytiques.- Paris : Hermann éditions.- vol.1_ 251p

PANDA A.K., RAMA R.S.V., RAJU M.V.L.N., BHANJA S.K, 2005. Effect of microbial phytase on production performance of white leghorn layers fed on a diet low in non-phytate phosphorus. *Br. Poult. Sci.*, 2005, **46**, 464-469.

PARK W., 2002. Post-ruminal phytate degradation in sheep. *Animal Feed Science and Technology*, 101:55-60.

PEREZ J.M., BORIES G., AUMAITRE A., BARRIER-GUILLOT B., DELAVEAU A., GUEGUEN L., LARBIER M., SAUVANT D., 2002. Conséquences en élevage et pour le consommateur du remplacement des farines et des graisses animales. *INRA Prod. Anim.*, **15**: 87-96.

PERNEY K.M., CANTOR A.H., STRAW M.L., 1993. The effect of dietary phytase on growth performance and phosphorus utilization of broiler chicks. *Poult Sci.*, **72**: 2106-2114.

PETRA P., FRU F., AURELI R., 2009. Etude comparative de plusieurs phytases sur la digestibilité des minéraux chez le poulet de chair. Journées de la Recherche Avicole, 25-26 mars, Saint Malo, France. 230-234.

PETRA PHILIPPS, FIDELIS FRU, RAFFAELLA AURELI, 2009 B. efficacité d'une phytase sur la digestibilité iléale apparente du phosphore chez la poule pondeuse huitième journées de la recherche avicole, st Malo, 25 et 26 mars 2009.

PIRGOZLIEV V., ODUGUWA O., ACAMOVIC T., BEDFORD M.R., 2008. Effects of dietary phytase performance and nutrient metabolism in chickens. *Br. Poult Sci.*, **49** : 144 154.

POCOCK G. et RICHARDS C. D., 2004. Physiologie humaine: les fondements de la médecine.- Paris : éd. Masson.- 638 p.

POINTILLART A., 1994. Phytates, phytases: leur importance dans l'alimentation des monogastriques. *INRA Prod. Anim.*, **7**: 29-39.

POINTILLART A., COLIN C., CAYRON B., CAMUS P., FOURDIN A., 1989. Apport vitaminique D et absorption du phosphore phytique chez le porc. Journée de la recherche Porcine, 31 janvier, 1 au 2 février, Jouy-en-Josas, France. 39-44.

POINTILLART A., COLIN C., LACROIX C., RADISSON J., 1993. Réduction chez le porc en croissance de la supplémentation en phosphore minéral par l'utilisation de céréales à activité phytasique élevée. Journée de la Recherche Porcine, 2 au 4 février, Paris. 233-238.

RAPP C., LANTZSCH H.J., DROCHNER W., 2001. Hydrolysis of phytic acid by intrinsic plant or supplemented microbial phytase (*Aspergillus niger*) in the stomach and small intestine of mini pigs fitted with reentrant cannulas: Phytase activity. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.*, **85**: 414-419.

RAVINDRAN V., CABAUG S., RAVINDRAN G., SELLE P. H., BRYDEN W. L., 2000. Response of broiler chickens to microbial phytase supplementation as influenced by dietary phytic acid and non-phytate phosphorus levels. Effects on apparent metabolizable energy, nutrient digestibility and nutrient retention. *Brit. Poult. Sci.*, **41**: 193-200.

RAVINDRAN V., CABAUG S., RAVINDRAN G., SELLE P. H., BRYDEN W.L., 2000. Response of broiler chickens to microbial phytase supplementation as influenced by dietary phytic acid and non-phytate phosphorus levels. Effects on apparent metabolizable energy, nutrient digestibility and nutrient retention. *Brit. Poult. Sci.*, **41**: 193-200.

RAVINDRAN V., SELLE P. H., RAVINDRAN G., MOREL P. C. H., KIES BRYDEN W. L., 2001. Microbial phytase improves performance, apparent metabolizable energy, and ileal amino acid digestibility of broilers fed a lysine-deficient diet. *Poult. Sci.*, **80**: 338-344.

REGNIER A.M., 1976. Métabolisme phosphocalcique et remaniement osseux chez le chien en croissance : Aspects physiopathologie, Thèse : Méd. Vét : Toulouse ; 75.

SAKOMURA N. K., 2008. Effect of Phytase Supplementation in Diets on Nutrient Digestibility and Performance in Broiler Chicks. *J. Appl. Poult. Res.*, **17**:191- 201.

SANTOS F. R., HRUBY M., PIERSON E. E. M., REMUS J. C.,

SAUVEUR B., 1989. Phosphore phytique et phytases dans l'alimentation des volailles. *INRA Prod. Anim.*, **2** : 343-351.

SAUVEUR B., 1992. Adaptation des apports alimentaire aux variations journalières des besoins en calcium et phosphore de la poule. *INRA Prod. Anim.*, **5** : 19-28.

SAUVEUR B., 1993. Les phytases fongiques dans l'alimentation des volailles. *INRA Prod. Anim.*, **6** : 265-267.

- SELLE P., RAVINDRAN V., 2009.** Effet du taux de phytate et de deux phytases (origine bactérienne ou fongique) sur le flux des acides aminés endogènes chez le poulet en croissance. Journées de la Recherche Avicole, 25-26 mars 2009, St-Malo, France. 157- 161.
- SHIRLEY R.B. et EDWARDS H.M. J.R., 2003.** Graded levels of phytase past industry standards improve broiler performance. *Poult Sci.*, **82**: 671-680.
- SHÖNER F.J., HOPPE P.P., SCHWARZ G., 1993.** Comparative Effects of microbial and inorganic phosphate in male chickens: the influence on performance data, mineral retention and dietary calcium. *J. anim. Physiol. Anim. Nutr.*, **69**: 248-255.
- SIMONS P.C.M., VERSTEEGH H.A.J., JONGBLOED A.W., KEMME P.A., SLUMP P., BOS K.D., WOLTERS M.G.E., BEUDEKER R.F., VERSCHOOR SMITH A. J., 1997.** L'élevage de la volaille.- Paris : Maisonneuve et Larose.- vol.1 et vol 2_ 368p.- (Les techniciens d'agriculture tropical).
- SKINNIRE J.L., T.J.BRIEVIK, K.L.SOUNDE, R.E.HALL, 1983.** The laying flock « feeding-managing-housing » 1983-p.8-10.
- SOUILEM O. et GOGNY M., 1994.** Particularités de la physiologie digestive des volailles. *Revue de médecine Vétérinaire*, **145** : 525-537.
- TALBINE ; 1993 .** Les effets de l'utilisation de la phase feeding avec diminution de la densité énergétique et le rationnement sur les performances zootechniques de la poule pondeuse. Thèse ingénieur INES Blida.
- TÄNIA SANTOS, 2011.** Optimisation of phytase production by *Aspergillus niger* Using solid state fermentation (thesis submitted to the National University of Ireland).
- THEREZIEN M. et JOLLIET O., 2006.** Évaluation écologique de l'utilisation de phytase dans l'alimentation des porcs à l'engrais. Office Fédéral de l'Environnement, Lausanne, 27 p.
- THIONGANE Y., 1982.** Contribution à l'étude de l'alimentation minérale des bovins au Sénégal "les macros - éléments". Thèse : Méd. Vét: Dakar ; 23.
- TORTORA G. J. et GRABOWSKI S. R., 2002.** Principe d'Anatomie et de Physiologie. 3è Ed. De Boeck Université, Bruxelles, 1256 p.
- TRAN G. et SKIBA F., 2005.** Variabilité inter et intra matière première de la teneur en phosphore total et phytique et de l'activité phytasique. *INRA Prod. Anim.*, **18** : 159 168.
- VAN DER KLIS J.D, VERSTEEGH H.A.J, SIMONS P.C.M., KIES A.K.** The efficacy of phytase in corn soybean-meal-based diets for laying hens. *Poult.Sci.*, 1997, **76**, 1535-1542.
- VILLATE D., 2001.** Les maladies des volailles.- Paris : France Agricole.- 399 p.

- WEIL J-H., BONNET J., BOULANGER Y., CHAMBON P., DUBETRET G., 1990.** Biochimie générale : DEUG B, PCEM, licences et maîtrises de biochimie, de biologie cellulaire, de physiologie.- Paris, Milan, Barcelone : éd. Masson.- 546 p.
- WOLTER R., 1974.** Alimentation et troubles du développement osseux chez les carnivores domestiques. *Rev. Méd. Vét.* **124**: 1137-1145.
- WYSS M., BRUGGER R., KRONENBERGER A., REMY R., FIMBEL R., OESTERHELT G., LEHMANN M., VAN LOON A. P. G. M., 1999.** Biochemical Characterization of Fungal Phytases (myo-Inositol Hexakisphosphate Phosphohydrolases) : Catalytic Properties. *Appl. Environ. Microbiol.*, **65**: 367-373.
- WYSS M., PASAMONTES L., REMY R., KOHLER J., KUSZNIR E., GADIENT M., MULLER F., VAN LOON A. P. G. M., 1998.** Comparison of the thermostability properties of three acid phosphatases from molds: *Aspergillus fumigatus* phytase, *A. niger* phytase, and *A. niger* pH 2.5 acid phosphatase. *Appl. Environ. Microbiol.* **64**: 4446-4451.
- YANKE L. J., BAE H. D., SELINGER L. B., CHENG K.J., 1998.** Phytase activity of anaerobic ruminal bacteria. *Journal Microbiology*, 144 : 1565-1573.
- ZHOU J. P., YANG Z. B., YANG W. R., WANG X. Y., JIANG S. Z., ZHANG G. G., 2008.** Effects of a New Recombinant Phytase on the Performance and Mineral Utilization of Broilers Fed Phosphorus-Deficient Diets. *J. Appl. Poult. Res.* **17**: 331-339.

WEBOGRAPHIE.

- KEROVUO J., 2000.** A Novel Phytase from *Bacillus*. Characterization and Production of the Enzyme. <Enligne> Accès internet:
<https://oa.doria.fi/bitstream/handle/10024/2363/anovelph.pdf?sequence=1> (Page consultée 23/03/2014).
- SUTTON A.L., RADCIFFE S., JOERN B. C., 2004.** Overview of Phosphorus Issues in Swine Feeding. <En ligne > Accès internet:
<http://www.livestocktrail.uiuc.edu/sowm/paperDisplay.cfm?ContentID=6509>. (Page consultée le 13/04/2014).
- WO, 2007.** Effet synergique de l'association de phytases sur l'hydrolyse de l'acide phytique. <En ligne> Accès internet
<http://www.wipo.int/pctdb/fr/wo.jsp?IA=FR2006001652&WO=2007006952&DISPAY=DESC>. (Page consultée le 24/06/2014).

ANNEXES

Annexe 1



Cage



mangeoire



Les étages



Balance de 500g



Balance de 30kg

Annexe 2

Consommation alimentaire

		Aliment distribué (kg)			
Lots	La date	Exp1	T1	Exp2	T2
	J 1				
	J2				
	J3				
	J4				
	J5				
	J6				
	J7				
	Totale de 1ere semaine				
	Aliment/ poule				
	J8				
	J9				
	J10				
	J11				
	J12				
	J13				
	J14				
	Totale de 2 ^{eme} semaine				
	Aliment/ poule				
	J15				
	J16				
	J17				
	J18				
	J19				
	J20				
	J21				
	Totale de 3 ^{eme} semaine				
	Aliment/ poule				
	J22				
	J23				
	J24				
	J25				
	J26				
	J27				
	J28				
	Totale de 4 ^{eme} semaine				
	Aliment/ poule				
	J29				
	J30				
	J31				
	J32				

J33				
J34				
J35				
Totale de 5 ^{eme} semaine				
Aliment/ poule				
J36				
J37				
J38				
J39				
J40				
J41				
J42				
Totale de 6 ^{eme} semaine				
Aliment/ poule				
J43				
J44				
J45				
J46				
J47				
J48				
J49				
Totale de 7 ^{eme} semaine				
Aliment/ poule				
J50				
J51				
J52				
J53				
J55				
J56				
J57				
Totale de 8 ^{eme} semaine				
Aliment/ poule				
Quantité ingère				
CMQ				

Annexe 4

Mortalité

La date	E I(105)	T I(105)	E II(105)	T II(105)
13-02-2014				
14-02-2014				
15-02-2014				
16-02-2014				
17-02-2014				
18-02-2014				
19-02-2014				
Totale de 1ere semaine				
20-02-2014				
21-02-2014				
22-02-2014				
23-02-2014				
24-02-2014				
25-02-2014				
26-02-2014				
Totale de 2eme semaine				
27-02-2014				
28-02-2014				
01-03-2014				
02-03-2014				
03-03-2014				
04-03-2014				
05-03-2014				
Totale de 3eme semaine				
06-03-2014				
07-03-2014				
08-03-2014				
09-03-2014				
10-03-2014				
11-03-2014				
12-03-2014				
Totale de 4eme semaine				
13-03-2014				
14-03-2014				
15-03-2014				
16-03-2014				
17-03-2014				
18-03-2014				
19-03-2014				
Totale de 5eme semaine				
20-03-2014				
21-03-2014				
22-03-2014				
23-03-2014				
24-03-2014				

25-03-2014				
26-03-2014				
Totale 6eme semaine				
27-03-2014				
28-03-2014				
29-03-2014				
30-03-2014				
31-03-2014				
01-04-2014				
02-04-2014				
Totale de 7eme semaine				
03-04-2014				
04-04-2014				
05-04-2014				
06-04-2014				
07-04-2014				
08-04-2014				
09-04-2014				
Totale de 8eme semaine				
Totale générale				

Annexe 5

Collecte des œufs

La date	E I(105)	T I(105)	E II(105)	T II(105)
13-02-2014				
14-02-2014				
15-02-2014				
16-02-2014				
17-02-2014				
18-02-2014				
19-02-2014				
Totale 1 semaine				
Toux de pont				
20-02-2014				
21-02-2014				
22-02-2014				
23-02-2014				
24-02-2014				
25-02-2014				
26-02-2014				
Totale 2 semaine				
Toux de pont				
27-02-2014				
28-02-2014				
01-03-2014				
02-03-2014				
03-03-2014				
04-03-2014				
05-03-2014				
Totale 3 semaine				
Toux de pont				
06-03-2014				
07-03-2014				
08-03-2014				
09-03-2014				
10-03-2014				
11-03-2014				
12-03-2014				
Totale 4 semaine				
Toux de pont				
13-03-2014				
14-03-2014				
15-03-2014				
16-03-2014				
17-03-2014				
18-03-2014				
19-03-2014				

Totale 5 semaine				
Toux de pont				
20-03-2014				
21-03-2014				
22-03-2014				
23-03-2014				
24-03-2014				
25-03-2014				
26-03-2014				
Totale 6 semaine				
Toux de pont				
27-03-2014				
28-03-2014				
29-03-2014				
30-03-2014				
31-03-2014				
01-04-2014				
02-04-2014				
Totale 7 semaine				
Toux de pont				
03-04-2014				
04-04-2014				
05-04-2014				
06-04-2014				
07-04-2014				
08-04-2014				
09-04-2014				
Totale 8 semaine				
Toux de pont				

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION.....	1
PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE	
CHAPITRE I : ALIMENTATION DE POULE POUNDEUSE	3
I.1 L'alimentation.....	3
I.1.1 Besoins énergétiques.....	3
I.1.2 Besoins protéiques.....	4
I.1.3 Alimentation minérale.....	6
I.1.3.1. Calcium.....	6
I.1.3.2 Phosphore.....	7
I.1.3.3 les autres minéraux.....	9
I.1 .4 Besoins vitaminiques.....	9
I.2. Abreuvement.....	10
CHAPITRE II : CALCIUM ET PHOSPHORE DANS L'ALIMENTATION DES VOLAILLES	11
II.1. Métabolisme phosphocalcique chez le poulet.....	11
II.1.1. Digestion.....	11
II.1.2. Absorbation.....	12
a) Lieu d'absorption.....	12
b) Mécanisme de transport.....	12
c) Digestibilité du phosphore végétal.....	13
d) Facteurs de variation de l'absorption du phosphore.....	14
d.1. Facteurs liés à l'animal.....	14
• l'âge de l'animal.....	14
• l'état du tube digestif.....	14
• la valeur du pH.....	14
• l'état physiologique de l'animale.....	14
d.2. Facteurs liés à la ration.....	15
d.3. Facteurs liés à la source de phosphore.....	15
d.3.1. Les phosphates inorganiques.....	15
• La finesse des particules.....	15
• La forme chimique et le degré de polymérisation.....	15
• La forme cristalline.....	15
d.3.2 Phosphore phytique.....	15

✓ Sa forme chimique initiale.....	15
✓ La présence de phytase ou de l'activité phytasique.....	16
✓ Des traitements subis par les matières premières.....	16
II.1.3. Distribution et rôle du calcium et du phosphore dans l'organisme.....	17
II.1.3.1. Calcium.....	17
II.1.3.2. Phosphore.....	18
• Le phosphore inorganique.....	18
II.1.4. Rétention et rejet de phosphore et de calcium.....	19
II.1.4.1. Rétention du phosphore et du calcium.....	19
II.1.4.2. Excrétion du phosphore et du calcium.....	20
II.1.5. Régulation du métabolisme phosphocalcique.....	21
II.1.5.1. Rôle de la parathormone.....	21
II.1.5.2. Rôle de la vitamine D.....	21
II.1.5.3. Rôle de la calcitonine.....	22
II.2. Différentes sources de calcium et phosphore dans la ration des poulets.....	24
II.2.1. Origine végétale.....	24
II.2.1.1. Calcium et phosphore disponible.....	24
II.2.1.2. Phosphore phytique : acide phytique et phytate.....	25
a) Définition.....	25
b) Aspect physico-chimique.....	27
c) Localisation des phytates.....	27
d) Proportion de phosphore phytique dans les céréales couramment utilisées.....	28
II.2.2. Origine animale.....	29
II.2.3. Origine minérale.....	30
II.2.3.1. Calcium minéral : carbonates de calcium.....	30
II.2.3.2. Phosphore minéral : phosphates.....	30
CHAPITRE III : PHYTASES ET LEUR IMPORTANCE DANS L'ALIMENTATION ANIMALE	31
III.1. Phytases.....	31
III.1.1. Phytases végétales.....	31
III.1.1.1. Sources et activité phytasique.....	31
III.1.1.2. Répartition anatomique.....	32
III.1.2. Phytase intestinale.....	32
III.1.3. Phytases fongique ou microbienne.....	33

III.2. Mécanisme d'action des phytases.....	33
III.2.1. Activité phytasique.....	33
III.2.2. Mécanisme d'action.....	34
III.2.3. Facteurs influençant l'activité phytasique.....	35
a. Facteurs physico-chimiques.....	36
a.1. Potentiel hydrogène (pH)	36
a.2. Température (chaleur et froid)	37
b. Autres facteurs.....	38
b.1. Humidité.....	38
b.2. Combinaison des phytates.....	38
III.2.4. Teneur en phytate.....	39
III.2.5. Forme de présentation.....	39
III.2.6. Fermentation.....	39
III.3. Critères utilisés dans l'étude des effets des phytases.....	40
III.3.1. Critères zootechniques croissance.....	40
III.3.2. Critères biochimiques.....	40
III.4. Comparaison de l'activité des phytases végétales et des phytases microbiennes.....	40
III.5. Comparaison de l'activité des phytases fongiques et microbiennes.....	41
III.6. Influence des phytases sur l'utilisation digestive des protéines, des minéraux de l'énergie métabolisable.....	41
III.6.1. Protéines et minéraux.....	41
III.6.2. Energie métabolisable.....	42
III.7. Intérêt des phytases dans l'alimentation des monogastriques.....	43
III.7.1. Intérêt économique.....	43
III.7.2. Intérêt écologique ou environnemental.....	44
PARTIE EXPERIMENTALE	45
MATERIELS ET METHODES	45
I. Objectif scientifique.....	45
II. Lieu et période d'étude.....	45
III. Matériels.....	45
III.1 Bâtiment et équipements.....	45
III.1.1. Bâtiment.....	45
III.1.2. Equipements.....	46

III.1.2. Autre matériel.....	46
• Centre d'aliment.....	46
• Les balances.....	47
III.2. Conditions d'ambiance.....	47
➤ La ventilation.....	47
➤ L'éclairage.....	47
➤ La température.....	47
➤ L'eau.....	48
III.3. Cheptel expérimental.....	48
III.4. Alimentation et composition de la ration.....	48
III.5. Phytase.....	51
IV. Méthodes	51
IV.1.Préparation des lots	51
IV.2.Programme de prophylaxie	52
IV.3 Travaux quotidiens	52
IV.4. Paramètre zootechniques.....	53
IV.4.1. Consommation alimentaire	53
IV.4.2. Poids vif des animaux	53
IV.4.3. Mortalité	53
IV.4.4 .Collecte des œufs	53
IV.4.5. Poids d'œuf	54
IV.4.6. Poids de la coquille	54
IV.5. Détermination des variables zootechniques	54
IV.5.1. La masse d'œuf	54
IV.5.2. Quantités ingérées	54
IV.5.3. Gain moyen quotidien (GMQ)	54
IV.5.4. Indice de consommation (IC)	55
IV.5.5. Taux de mortalité (TM).....	55
IV.5.6. Taux de ponte (TP).....	55
IV.5.7. Taux de casse (TC).....	55
4.5. Analyse statistique.....	55
RESULTATS ET DISCUSSION	56
1) Poids vif de la poule.....	56

1.1. Test homogénéité	56
1.2. Gain moyen quotidien.....	57
2. Taux de ponte	58
3. Taux de casse	59
4. Le poids d'œuf	60
5. La masse d'œuf	61
6. Poids de la coquille	62
7. Rapport coquille / œuf.....	62
8. Consommation alimentaire et Indice de consommation.....	63
8.1. Consommation alimentaire individuelle.....	63
8.2. Indice de consommation	65
8.3. La relation entre la consommation alimentaire et l'indice de consommation	66
8.4. La relation entre la consommation moyenne quotidienne d'aliment par rapport au poids moyen de l'œuf.....	67
9. La mortalité	68
10. La couleur des œufs.....	69
11. La chute de plumes.....	70
12. Etude économique.....	70

CONCLUSION

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

ANNEXES