

UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR

ECOLE INTER - ETATS DES SCIENCES ET MEDECINE VETERINAIRES

(E.I.S.M.V.)



ANNEE 2010

N° 02

EFFETS DES PHYTASES D'ORIGINE BACTERIENNE ET FONGIQUE SUR LA CROISSANCE DES POULETS DE CHAIR AU SENEGAL

THESE

Présentée et soutenue publiquement le **Samedi 19 Juin 2010** à **10 heures** devant la Faculté de Médecine, de Pharmacie et d'Odonto-Stomatologie de Dakar
Pour obtenir le Grade de

**DOCTEUR EN MEDECINE VETERINAIRE
(DIPLOME D'ETAT)**

Par

Yoboué José Noël KOFFI

Jury

Président :	M. Emmanuel BASSENE	Professeur à la faculté de Médecine de Pharmacie et d'Odontostomatologie de Dakar
Directeur et rapporteur de thèse :	M. Ayao MISSOHO	Professeur à L'E.I.S.M.V de Dakar
Membres :	Mme Rianatou BADA ALAMBEDJI	Professeur à L'E.I.S.M.V de Dakar
	M. Serge Niangoran BAKOU	Maître de Conférences Agrégé à L'E.I.S.M.V. de Dakar



ECOLE INTER-ETATS DES SCIENCES ET MEDECINE VETERINAIRES DE DAKAR

**BP 5077-DAKAR (Sénégal)
Tel. (221) 33 865 10 08- Télécopie (221) 825 42 83**

COMITE DE DIRECTION

LE DIRECTEUR

⌘ Professeur Louis Joseph PANGUI

LES COORDONNATEURS

**⌘ Professeur Justin Ayayi AKAKPO
Coordonnateur Recherche / Développement**

**⌘ Professeur Germain Jérôme SAWADOGO
Coordonnateur des Stages et de la
Formation Post-Universitaires**

**⌘ Professeur Moussa ASSANE
Coordinateur des Etudes**

Année Universitaire 2009 – 2010

PERSONNEL ENSEIGNANT

☞ **PERSONNEL ENSEIGNANT E.I.S.M.V**

☞ **PERSONNEL VACATAIRE (PREVU)**

☞ **PERSONNEL EN MISSION (PREVU)**

☞ **PERSONNEL ENSEIGNANT CPEV**

☞ **PERSONNEL ENSEIGNANT DEA – PA**

A. DEPARTEMENT DES SCIENCES BIOLOGIQUES
ET PRODUCTIONS ANIMALES

CHEF DE DEPARTEMENT : Ayao MISSOHOU, Professeur

S E R V I C E S

1. ANATOMIE-HISTOLOGIE-EMBRYOLOGIE

Serge Niangoran BAKOU	Maître de conférences agrégé
Gualbert Simon NTEME ELLA	Assistant
Mr Bernard Agré KOUAKOU	Docteur Vétérinaire Vacataire
Mr Constant Fidèle S. MBOUGA	Moniteur

2. CHIRURGIE –REPRODUCTION

Papa El Hassane DIOP	Professeur
Alain Richi KAMGA WALADJO	Assistant
Mlle Bilkiss V.M ASSANI	Docteur Vétérinaire Vacataire
Mr Abdoulaye SOUMBOUDOU	Moniteur

3. ECONOMIE RURALE ET GESTION

Cheikh LY	Professeur (<i>en disponibilité</i>)
Adrien MANKOR	Assistant
Mr Gabriel TENO	Docteur Vétérinaire Vacataire

4. PHYSIOLOGIE-PHARMACODYNAMIE-THERAPEUTIQUE

Moussa ASSANE	Professeur
Rock Allister LAPO	Maître-Assistant
Mr Mamadou Sarr dit Sarra N'DAO	Moniteur

5. PHYSIQUE ET CHIMIE BIOLOGIQUES ET MEDICALES

Germain Jérôme SAWADOGO	Professeur
Mr Kalandi MIGUIRI	Docteur Vétérinaire Vacataire
Mr Kouachi Clément ASSEU	Moniteur

6. ZOOTECHNIE-ALIMENTATION

Ayao MISSOHOU	Professeur
Simplex AYSSIWEDE	Assistant
Mr Abou KONE	Moniteur

B. DEPARTEMENT DE SANTE PUBLIQUE ET
ENVIRONNEMENT

CHEF DE DEPARTEMENT : Rianatou BADA ALAMBEDJI, Professeur

S E R V I C E S

**1. HYGIENE ET INDUSTRIE DES DENREES ALIMENTAIRES
D'ORIGINE ANIMALE (HIDAOA)**

Serigne Khalifa Babacar SYLLA	Assistant
Bellancille MUSABYEMARIYA	Assistante
Mr David RAKANSOU	Docteur Vétérinaire Vacataire
Mlle Maguette N'DIAYE	Monitrice

2. MICROBIOLOGIE-IMMUNOLOGIE-PATHOLOGIE INFECTIEUSE

Justin Ayayi AKAKPO	Professeur
Rianatou BADA ALAMBEDJI	Professeur
Philippe KONE	Assistant
Mr Abdel-Aziz ARADA IZZEDINE	Docteur Vétérinaire Vacataire
Mr Yoboué José Noël KOFFI	Moniteur

3. PARASITOLOGIE-MALADIES PARASITAIRES-ZOOLOGIE APPLIQUEE

Louis Joseph PANGUI	Professeur
Oubri Bassa GBATI	Maître - Assistant
Mr Claude Laurel BETENE A DOOKO	Docteur Vétérinaire Vacataire

**4. PATHOLOGIE MEDICALE-ANATOMIE PATHOLOGIQUE- CLINIQUE
AMBULANTE**

Yalacé Yamba KABORET	Professeur
Yacouba KANE	Maître - Assistant
Mireille KADJA WONOU	Assistante
Mr Maurice Marcel SANDEU	Docteur Vétérinaire Vacataire
Mr Cheickh NDIAYE	Moniteur
Mr Medoune BADIANE	Docteur Vétérinaire Vacataire
Mr Omar FALL	Docteur Vétérinaire Vacataire
Mr Alpha SOW	Docteur Vétérinaire Vacataire
Mr Abdoulaye SOW	Docteur Vétérinaire Vacataire
Mr Ibrahima WADE	Docteur Vétérinaire Vacataire
Mr Charles Benoît DIENG	Docteur Vétérinaire Vacataire

5. PHARMACIE-TOXICOLOGIE

Gilbert Komlan AKODA	Assistant
Assiongbon TEKOU AGBO	Chargé de recherche
Mr Abdou Moumouni ASSOUMY	Docteur Vétérinaire vacataire

C. DEPARTEMENT COMMUNICATION

CHEF DE DEPARTEMENT : Yalacé Yamba KABORET, Professeur

SERVICES

1. BIBLIOTHEQUE

Mme Mariam DIOUF

Documentaliste

2. SERVICE AUDIO-VISUEL

Bouré SARR

Technicien

3. OBSERVATOIRE DES METIERS DE L'ÉLEVAGE (O.M.E.)

D. SCOLARITE

Mlle Aminata DIAGNE

Assistante

Mr Théophraste LAFIA

Vacataire

El Hadji Mamadou DIENG

Vacataire

Mlle Elise OULON

Monitrice

PERSONNEL VACATAIRE (Prévu)

1. BIOPHYSIQUE

Boucar NDONG

Assistant
Faculté de Médecine et de Pharmacie
UCAD

2. BOTANIQUE

Dr Kandioutra NOBA
Dr César BASSENE

Maître de Conférences (Cours)
Assistant (TP)
Faculté des Sciences et Techniques
UCAD

3. AGRO-PEDOLOGIE

Fary DIOME

Maître -Assistant
Institut de Science de la Terre (I.S.T.)

4. ZOOTECHNIE

Abdoulaye DIENG

Léonard Elie AKPO

Alpha SOW

El Hadji Mamadou DIOUF

Docteur Ingénieur ;
ENSA-THIES
Maître de Conférences
Faculté des Sciences et Techniques
UCAD
Docteur vétérinaire vacataire
PASTAGRI
Docteur vétérinaire vacataire
SEDIMA

5. H I D A O A:

Malang SEYDI

Professeur
E.I.S.M.V - DAKAR

6. PHARMACIE-TOXICOLOGIE

Amadou DIOUF

Professeur
Faculté de Médecine et de Pharmacie
UCAD

PERSONNEL EN MISSION (Prévu)

1. TOXICOLOGIE CLINIQUE

Abdoulaziz EL HRAIKI

Professeur
Institut Agronomique et Vétérinaire
Hassan II (Rabat) Maroc

2. REPRODUCTION

Hamidou BOLY

Professeur
Université de Bobo-Dioulasso
(Burkina Faso)

3. PARASITOLOGIE

Salifou SAHIDOU

Professeur
Université Abobo-Calavy (Bénin)

4. ZOOTECHNIE-ALIMENTATION ANIMALE

Jamel RKHIS

Professeur
Ecole Nationale de Médecine
Vétérinaire de TUNISIE

PERSONNEL ENSEIGNANT CPEV

1. MATHEMATIQUES

Abdoulaye MBAYE

Assistant

Faculté des Sciences et Technique
UCAD

2. PHYSIQUE

Amadou DIAO

Assistant

Faculté des Sciences et Techniques
UCAD

⌘ Travaux Pratiques

Oumar NIASS

Assistant

Faculté des Sciences et Techniques
UCAD

3. CHIMIE ORGANIQUE

Aboubacary SENE

Maître-Assistant

Faculté des Sciences et Techniques
UCAD

4. CHIMIE PHYSIQUE

Abdoulaye DIOP

Mame Diatou GAYE SEYE

Maître de Conférences

Maître de Conférences

Faculté des Sciences et Techniques
UCAD

⌘ Travaux Pratiques de CHIMIE

Assiongbon TECKO AGBO

Assistant

EISMV - DAKAR

⌘ Travaux Dirigés de CHIMIE

Momar NDIAYE

Maître-Assistant

Faculté des Sciences et Techniques
UCAD

5. BIOLOGIE VEGETALE

Dr Aboubacry KANE

Dr Ngansomana BA

Maître-Assistant (Cours)

Assistant Vacataire (TP)

Faculté des Sciences et Techniques
UCAD

6. BIOLOGIE CELLULAIRE

Serge Niangoran BAKOU

Maître de conférences agrégé

EISMV - DAKAR

7. EMBRYOLOGIE ET ZOOLOGIE

Malick FALL

Maître de Conférences

Faculté des Sciences et Techniques
UCAD

8. PHYSIOLOGIE ANIMALE

Moussa ASSANE

Professeur
EISMV - DAKAR

9. ANATOMIE COMPAREE DES VERTEBRES

Cheikh Tidiane BA

Professeur
Faculté des Sciences et Techniques
UCAD

10. BIOLOGIE ANIMALE (Travaux Pratiques)

Serge Niangoran BAKOU

Maître de conférences agrégé
EISMV - DAKAR

Oubri Bassa GBATI

Maître - Assistant
EISMV - DAKAR

Gualbert Simon NTEME ELLA

Assistant
EISMV - DAKAR

11. GEOLOGIE :

⌘ FORMATIONS SEDIMENTAIRES

Raphaël SARR

Maître de Conférences
Faculté des Sciences et Techniques
UCAD

⌘ HYDROGEOLOGIE

Abdoulaye FAYE

Maître de Conférences
Faculté des Sciences et Techniques
UCAD

12. CPEV

⌘ Travaux Pratiques

Elise OULON

Monitrice

DEDICACES

Je dédie ce travail,

- ❖ A Dieu, le Tout Puissant qui fait de moi ce que je suis, à lui toute la Gloire.
- ❖ A mon père **Kouakou Edouard KOFFI**, tu as tout mis en œuvre pour ma réussite, pour que je ne manque de rien. Aujourd'hui, ma prière est que le Seigneur t'accorde une bonne santé et longue vie.
- ❖ A ma Mère **Aya Cécile AMANI**, que te dire ? Je t'aime Maman. Tu es une mère au grand cœur. Tu as fait de l'Homme ta richesse. Papa et toi, êtes vraiment spéciaux. Paix, Santé et Longévité à toi Maman Chérie.
- ❖ A mes frères **Stéphane, Patrick, Michel, Guy Roger** et mes sœurs **Yolande, Flaure**. Je rentre avec un premier trophée qui est le vôtre. Soyez tous bénis.
- ❖ A ma bienaimée **Angéline LAMAN**, la distance m'a permis de réaliser que je t'aime vraiment. Merci pour ton courage et ta patience. Puisse Dieu nous garder sous le même toit.
- ❖ A Mr et Mme **KOUAKOU**, vous avez été pour moi, des parents ici à Dakar. Vos conseils et soutiens n'ont pas été de trop. Vous ne le savez peut être pas, mais, vous êtes un model pour moi. Dieu vous bénisse, vos enfants aussi.
- ❖ A Mr et Mme **KOUASSI**, vous m'avez toujours considéré comme votre petit frère et vos appels réguliers me reconfortaient. Dieu saura vous récompenser.
- ❖ A Mr et Mme **TIVOLY**, merci pour vos prières et conseils. Dieu vous garde.
- ❖ Au pasteur **Félix N'DIAYE**, au conseil, à tous mes frères et sœurs de l'Eglise de Béthel Dieuppeul. J'ai beaucoup appris avec vous. La **spécificité** de chacun de nos cultes des dimanches, me manquera énormément.
- ❖ A la cellule des Ivoiriens de Béthel. Vous êtes une famille. Dieu perpétue nos activités
- ❖ A toute la jeunesse de Béthel. Vous avez pour moi, une source de bénédiction.
- ❖ A mes frères et sœurs du **GBU**, que le bon Dieu vous soutienne dans cette noble mission qui est de « **connaître Christ et le faire connaître** ».
- ❖ A la cellule du GBU du Véto. Merci pour vos prières. Courage dans la marche.
- ❖ A tous mes frères et sœurs de la Communauté des **Etudiants Vétérinaires Ivoiriens au Sénégal**. Merci pour votre soutien.
- ❖ A l'Amicale des **Etudiants Vétérinaire de Dakar**.
- ❖ A la 37^{ème} promotion de **l'EISMV**. Nous avons été une petite promotion, exceptionnelle et unique. Je garde beaucoup de souvenirs.
- ❖ A la **Côte d'Ivoire**, ma mère patrie. Que Dieu te sorte de cette situation pénible.
- ❖ Au **Sénégal**, mon pays hôte. Mon pays m'a vu naître, m'a donné la formation de base et tu l'as parachevée en la couronnant de ce diplôme prestigieux.

REMERCIEMENTS

Toutes mes sincères reconnaissances à tous ceux qui m'ont permis de réaliser ce travail.

- ❖ A **Dieu, le Tout puissant**. Tu es l'auteur de cette œuvre. Honneur à toi.
- ❖ A mon maître, le professeur **Ayao MISSOHOU**. Merci d'avoir cru en moi, en me confiant ce travail et m'ayant permis de le réaliser. Dieu vous bénisse.
- ❖ A notre professeur accompagnateur, maman **Rianatou ALAMBEDJI**. Bonheur, Paix et Santé. Dieu vous garde. Merci pour votre soutien et vos conseils.
- ❖ A notre Parrain, **M. Babacar NGOM** Président du groupe SEDIMA, vous nous inspirez l'entrepreneuriat, c'est pour cela que notre slogan des vétérinaires entrepreneurs pour une modernisation de l'élevage en Afrique est notre leitmotiv. Grand merci pour votre soutien. Dieu saura prendre soin de vous.
- ❖ Au professeur **AKAKPO**, vous m'avez permis de travailler au service de MIPI où j'ai bonifié mes acquis. Vous êtes une bibliothèque. Santé et Longévité de la part de Dieu.
- ❖ Aux professeurs **SAWADOGO, ASSANE MOUSSA**.
- ❖ A nos illustres maîtres de l'EISMV, pour la qualité de vos enseignements.
- ❖ Aux Docteurs **Philippe KONE, Simplicie AYSSIWEDE** pour vos conseils et aides.
- ❖ Au professeur **Serge BAKOU**, vous nous avez donné les conseils quand il le fallait. Vous êtes un model dans le travail. Que Dieu vous renouvelle et réalise vos projets.
- ❖ A mes amis **Abou, Asseu, Abdoul**. Merci pour les bons moments passés ensemble.
- ❖ A Mon amie **Marie Thérèse**.
- ❖ Aux Docteurs **Abdel AZIZ IZZEDINE, KALO, Franckline ENEDE**, Mr **SENE** technicien au laboratoire de MIPI, Mr **HANE** technicien au laboratoire d'alimentation. Mr **SENE** technicien au service d'Anatomie. Merci infiniment.
- ❖ A Mme **DIOUF**, Mlle **Aminata DIAGNE**, Mr **Théophraste LAFIA**.
- ❖ A mon petit **Yssouf**, merci pour tout ton soutien durant la phase expérimentale.
- ❖ A Mes amies **Mariam, Yasmine, Roselline, Adjé, Nina Nadège**.
- ❖ A toute la **jeunesse de Béthel, Billy, Nadine, Adélaïde, Clémentine, Pascale** et tous ceux que je n'ai pas cité.
- ❖ A mes neveux et mes nièces : **Marie Danielle, Cédric Elysée, Bérénice, Vertu, Eunice, Excellence Ester**, bien que encore enfants, que ce travail vous serve de model.
- ❖ A Mme **DIBI**, Mme **AIWA**, Mr **ATHO**, Mr **SORO** et famille, Mr **NIAMIEN** et famille, Mr **KONAN** et famille, **Amos KOUADIO**, la jeunesse et toute l'église CMA de Bingerville.
- ❖ A Mme **BELLO**, Mr **Dédjou** chef de pavillon au Coud
- ❖ Aux Docteurs **Yacouba KONE, MBARI, Félicité BEUDJE**.
- ❖ A tout le personnel administratif de l'EISMV.

A NOS MAÎTRES ET JUGES

**A notre Maître et Président de jury, Monsieur Emmanuel BASSENE,
Professeur à la faculté de Médecine, de Pharmacie et d'Odonto-stomatologie
de Dakar**

*Vous nous avez fait honneur d'accepter la
Présidence de notre jury de thèse,
Soyez assuré de notre profond respect.
Hommage respectueux.*

**A notre Maître, Directeur et Rapporteur de thèse, Monsieur Ayao MISSOHOU
Professeur à l'E.I.S.M.V. de Dakar**

*Qui nous a fait l'honneur d'encadrer ce travail.
Nous vous remercions vivement de votre disponibilité,
de vos bons conseils et de votre rigueur intellectuelle.
Trouvez ici un témoignage de notre sincère reconnaissance.
Hommage respectueux.*

**A notre Maître et juge, Madame Rianatou BADA ALAMBEDJI,
Professeur à l'E.I.S.M.V. de Dakar**

*En dépit de votre emploi de temps très chargé,
Pour le temps consacré à ce travail et les conseils prodigués,
Pour votre disponibilité et votre rigueur de femme de sciences
Trouvez ici un témoignage de notre reconnaissance et de tout le
Respect que nous vous portons en tant que professeur.*

**A notre Maître et juge, Monsieur Serge Niangoran BAKOU,
Maître de conférences agrégé à l'E.I.S.M.V. de Dakar**

*Vous nous faites l'honneur de participer à notre
Jury de thèse. Vos qualités intellectuelles et votre
Dynamisme nous impressionnent. Sincères remerciements*

« Par délibération la Faculté de Médecine, de Pharmacie et d'Odonto-Stomatologie et l'Ecole Inter-Etats des sciences et Médecine Vétérinaire de Dakar ont décidé que les opinions émises dans les dissertations qui leur seront présentées, doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elles n'entendent donner aucune approbation ni improbation »

LISTE DES ABREVIATIONS

1,25 - (OH)₂ D₃ : 1,25- dihydroxycholécalférol
AFNOR : Association française de normalisation
AFRC: Agricultural and Food Research Council
AFZ : Association Française de Zootechnie
AJR : Apport Journalier Recommandé
AME : Energie Métabolisable Apparente
ARC britannique : Agricultural Research Council
ATP : Adénosine Triphosphate
AVISEN : Aviculture Sénégalaise
°C : Degré Celsius
Ca₁₀ (PO₄)₆ (OH)₂ : Hydroxyapatite
C₆H₁₈O₂₄P₆ : acide phytique ou acide myo-inositol hexaphosphorique
Ca: Calcium
CAAA : Cycle Approfondi de l'Alimentation Animale
CaBP : Calcium Binding protein
CIIAA : Comité Interministériel de l'Industrie de l'Alimentation Animale
CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique
Co : Cobalt
CT : Calcitonine
Cu : Cuivre
CUDr : Coefficient d'Utilisation Digestif relatif
E.I.S.M.V : Ecole Inter-Etats des Sciences et Médecine Vétérinaires de Dakar
€ : Euro
F CFA : Franc de la communauté Financière Africaine
Fe : Fer
FTU ou **UP** : Unité Phytasique
g : Gramme
GMQ : Gain Moyen Quotidien
HPO₄²⁻ : Ion hydrogénéphosphate ou Phosphate inorganique
H₂PO₄⁻ : Ion dihydrogénéphosphate
IC: Indice de consommation
INA : Institut National Agronomique
INRA : Institut National de Recherches Agronomiques
IP : Inositol Phosphate
ITAVI : Institut Technique de l'Aviculture
j : Jour
K : Potassium
kcal : Kilocalorie
kDa : Kilo Dalton
kg : kilogramme
Km² : Kilomètre carré
l : Litre

LCR : Liquide Céphalo-rachidien
m : Mètre
µg : Micro gramme
mg : Milligramme
Mg : Magnésium
MJ : Méga Joule
ml : millilitre
MM : matière minérale
Mn : Manganèse
MS : Matière sèche
N: Newton
NaHPO₄⁻ : Ion monohydrogenophosphate de sodium
NMA : Nouvelle Minoterie Africaine
NRC : United States National Research Center
P : Phosphore
% : Pourcentage
Pd : phosphore disponible
pH : Potentiel d'hydrogène
PNP : Phosphore non Phytique
PO₄ : Phosphate
PO₄³⁻ : Ion phosphate ou Ortho phosphate
PP : Phosphore Phytique
PTH : Parathormone
SEEMAAP- Industries : Société d'exploitation des EMAAP-Industries
SPSS : Statistical Package for the Social Science
t : tonne
UI : Unité Internationale
VBR : Valeur Biologique Relative
Vit D : Vitamine D
Zn : Zinc

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : vue latérale du tractus digestif du poulet.....	7
Figure 2 : Les étapes de l'absorption intestinale du calcium.....	8
Figure 3 : Relation entre la teneur en P (g/kg) de l'aliment et la rétention apparente de P(%).....	15
Figure 4 : Diagramme schématisant les principales actions de la parathormone (PTH).....	18
Figure 5 : Régulation du métabolisme calcique en cas d'hypercalcémie.....	18
Figure 6 : Structure chimique du myo inositol, de l'acide phytique et des phytates.....	20
Figure 7 : Structure de l'acide phytique.....	21
Figure 8 : Hydrolyse de l'acide phytique par la phytase.....	36
Figure 9 : Etapes de l'hydrolyse d'une phytate par une phytase.....	37
Figure 10 : pH dans le tractus gastro-intestinal du poulet.....	38
Figure 11 : pH optimal de 3 phytases ; Ronozyme®, Natuphos®, Quantum™.....	39
Figure 12 : Effet de la température de granulation sur le ratio phosphore phytique / phosphore total (%) et l'activité phytasique du blé (g/kg MS).....	40
Figure 13 : Effets de l'interaction du niveau de Ca et de la phytase sur le GMQ (a) et la CJM (b) des poussins de 1 à 21 jours à des niveaux faibles de PNP.....	46
Figure 14 : Effet de l'interaction du niveau de calcium et la phytase sur la mortalité des poussins nourris de 1 à 21 jours.....	46
Figure 15 : Régression non linéaire de l'utilisation iléale apparente du P.....	47
Figure 16 : Effet de l'interaction du niveau de Ca et la phytase sur le poids de l'os (a) et de la cendre (b) à des niveaux faibles de PNP.....	47
Figure 17 : Interaction entre phytases végétales et microbiennes.....	50
Figure 18 : Cycle du phosphore dans le sol.....	51
Figure 19 : Natuphos®.....	56
Figure 20 : Physin®.....	56
Figure 21 : Poussins à l'arrivée.....	57
Figure 22 : Poussins dans la poussinière.....	57
Figure 23 : Répartition des poulets dans les sous lots.....	58
Figure 24 : Volaille baguée.....	58
Figure 25 : Pesée d'une patte.....	64
Figure 26 : Effet de la supplémentation du régime en phytase sur la consommation alimentaire individuelle quotidienne.....	69
Figure 27 : Poulet présentant une paralysie.....	71

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Comparaison des besoins physiologiques nets d'une vache en lactation (750 kg de poids vif, 35 l de lait/j, ingestion de 23 kg de MS).....	6
Tableau II : Valeur biologique comparée des phosphates inorganiques (p.100).....	12
Tableau III : Influence du niveau d'activité phytasique sur la rétention de P chez le poulet de chair.....	15
Tableau IV : Influence du niveau d'activité phytasique sur la rétention apparente du phosphore phytique chez le poulet de chair.....	15
Tableau V : Composition en calcium et phosphore de quelques matières premières disponibles au Sénégal.....	19
Tableau VI : Répartition des différents inositol-phosphates dans quelques matières premières rapportées à sa matière sèche en g/Kg.....	21
Tableau VII : Localisation de l'acide phytique dans le grain.....	22
Tableau VIII : Phosphore phytique (en g/kg) des principales matières premières en alimentation animale.....	23
Tableau IX : Teneurs en phosphore total et phosphore phytique de quelques matières premières.....	23
Tableau X : Valeurs biologiques relatives (VBR) des principaux phosphates.....	25
Tableau XI : Apports alimentaires recommandés pour le poulet de chair (g/kg d'aliment).....	26
Tableau XII : Apports recommandés en minéraux pour le poulet (% du régime).....	27
Tableau XIII : Efficacité du phosphore de quatre céréales sur la croissance corporelle et la minéralisation osseuse du poulet de chair.....	30
Tableau XIV : Activité phytasique moyenne des matières premières Unité/kg.....	33
Tableau XV : Répartition comparée de la phytase et des phytates dans le grain de blé.....	34
Tableau XVI : Composition de la ration en %.....	55
Tableau XVII : Plan de prophylaxie médicale.....	59
Tableau XVIII : Programme alimentaire et la présentation des aliments.....	60
Tableau XIX : Constituants des aliments expérimentaux.....	60
Tableau XX : Variation de la température et de l'hygrométrie pendant l'essai.....	66
Tableau XXI : Effet de la supplémentation de la ration en phytase sur le poids vif.....	67
Tableau XXII : Effet de la supplémentation de la ration en phytase sur le GMQ.....	67
Tableau XXIII : Effet des phytases sur le poids et le rendement carcasse.....	68
Tableau XXIV : Effet des phytases sur la consommation alimentaire individuelle.....	68
Tableau XXV : Effet des phytases sur l'indice de consommation.....	69
Tableau XXVI : Effet des phytases sur la matière sèche et la teneur en matière sèche.....	70
Tableau XXVII : Effet des phytases sur le poids de cendre et la teneur en matières minérales.....	71
Tableau XXVIII : Taux de mortalité par lot.....	72

Tableau XXIX : Etude économique.....	73
---	-----------

Table des matières

INTRODUCTION	1
PREMIERE PARTIE : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	3
<i>Chapitre 1 : CALCIUM ET PHOSPHORE DANS L'ALIMENTATION DES VOLAILLES.....</i>	<i>4</i>
1.1- HISTORIQUE : ETAPES DE L'UTILISATION DU PHOSPHORE EN ALIMENTATION ANIMALE	4
1.2- METABOLISME PHOSPHOCALCIQUE CHEZ LE POULET DE CHAIR	6
1.2.1- DIGESTION	6
1.2.2- ABSORPTION.....	7
1.2.2.1- <i>Lieu d'absorption.....</i>	<i>7</i>
1.2.2.2- <i>Mécanisme de transport.....</i>	<i>8</i>
1.2.2.3- <i>Digestibilité du phosphore végétal.....</i>	<i>9</i>
1.2.2.4- <i>Facteurs de variation de l'absorption du phosphore.....</i>	<i>9</i>
1.2.2.4.1- <i>Facteurs liés à l'animal.....</i>	<i>9</i>
1.2.2.4.2- <i>Facteurs liés à la ration.....</i>	<i>10</i>
1.2.2.4.3- <i>Facteurs liés à la source de phosphore</i>	<i>10</i>
1.2.2.4.3.1- <i>Phosphates inorganiques</i>	<i>10</i>
1.2.2.4.3.2- <i>Phosphore phytique.....</i>	<i>11</i>
1.2.3 - DISTRIBUTION ET ROLE DU CALCIUM ET DU PHOSPHORE DANS L'ORGANISME	13
1.2.3.1- <i>Calcium</i>	<i>13</i>
1.2.3.2- <i>Phosphore</i>	<i>13</i>
1.2.4- RETENTION ET REJET DE PHOSPHORE ET DE CALCIUM.....	14
1.2.4.1- <i>Réention du phosphore et du calcium.....</i>	<i>14</i>
1.2.4.2- <i>Excrétion du phosphore et de calcium.....</i>	<i>16</i>
1.2.5- REGULATION DU METABOLISME PHOSPHOCALCIQUE	16
1.2.5.1- <i>Rôle de la parathormone.....</i>	<i>16</i>
1.2.5.2- <i>Rôle de la vitamine D.....</i>	<i>17</i>
1.2.5.3- <i>Rôle de la calcitonine.....</i>	<i>17</i>
1.3. DIFFERENTES SOURCES DE CALCIUM ET DE PHOSPHORE DANS LA RATION DES POULETS DE CHAIR.....	19
1.3.1- ORIGINE VEGETALE	19
1.3.1.1- <i>Calcium et phosphore disponible.....</i>	<i>19</i>

1.3.1.2- <i>Phosphore phytique : acide phytique et phytate</i>	20
1.3.1.2.1- Définition	20
1.3.1.2.2- Aspect physico-chimique	21
1.3.1.2.3- Localisation des phytates	22
1.3.1.2.4- Proportion de phosphore phytique dans les céréales couramment utilisées.....	22
1.3.2- ORIGINE ANIMALE.....	24
1.3.3- ORIGINE MINERALE.....	24
1.3.3.1- <i>Calcium minéral : carbonates de calcium</i>	24
1.3.3.2- <i>Phosphore minéral : phosphates</i>	24
1.4- BESOINS EN CALCIUM ET PHOSPHORE DES POULETS DE CHAIR	25
1.4.1- REGLE D'UTILISATION DU PHOSPHORE ET DU CALCIUM	26
1.4.2- APPORTS RECOMMANDES EN CALCIUM ET PHOSPHORE	26
1.4.3- OPTIMISATION DES PERFORMANCES ZOOTECHNIQUES EN FONCTION DE L'APPORT DE PHOSPHORE	27
1.4.4- EFFETS DES NIVEAUX DE CALCIUM ET DE PHOSPHORE DES REGIMES ALIMENTAIRES SUR LA CROISSANCE DES POULETS DE CHAIR.....	27
1.4.5- MAITRISE DES APPORTS DE CALCIUM, UNE VOIE D'ECONOMIE DU PHOSPHORE	28
1.4.5.1- <i>Performance de croissance</i>	28
1.4.5.2- <i>Minéralisation osseuse</i>	29
1.4.6- INFLUENCE DU PHOSPHORE PHYTIQUE SUR LA CROISSANCE.....	29
1.4.7- INFLUENCE DES PHYTATES SUR LA DISPONIBILITE DES AUTRES MINERAUX. 30	
1.4.8- INFLUENCE DE LA TEMPERATURE SUR LES APPORTS EN CALCIUM ET EN PHOSPHORE DES RATIONS POUR POULET DE CHAIR	30
<i>Chapitre II : PHYTASES ET LEURS IMPORTANCES DANS L'ALIMENTATION DES VOLAILLES</i>	32
2.1- HISTORIQUE DE L'UTILISATION DES PHYTASES DANS L'ALIMENTATION ANIMALE.....	32
2.2- PHYTASES	33
2.2.1- PHYTASES VEGETALES	33
2.2.1.1- <i>Sources et activités phytasiques</i>	33
2.2.1.2- <i>Répartition anatomique</i>	34
2.2.2- PHYTASE INTESTINALE	34
2.2.3- PHYTASES FONGIQUES OU MICROBIENNES	35
2.3- MECANISME D'ACTION DES PHYTASES.....	35
2.3.1- ACTIVITE PHYTASIQUE	35
2.3.2- MECANISME D'ACTION	36

2.3.2.1- FACTEURS INFLUENÇANT L'ACTIVITE PHYTASIQUE	38
2.3.2.1.1- FACTEURS PHYSICO-CHIMIQUES.....	38
2.3.2.1.1.1- Potentiel hydrogène (pH).....	38
2.3.2.1.1.2- Température (chaleur et froid).....	39
2.3.3- AUTRES FACTEURS.....	40
2.3.3.1- Humidité.....	40
2.3.3.2- Combinaison des phytates.....	41
2.3.3.3- Teneur en phytate.....	41
2.3.3.4- Forme de présentation	41
2.3.3.5- Fermentation.....	41
2.4- CRITERES UTILISES DANS L'ETUDE DES EFFETS DES PHYTASES.....	42
2.4.1- CRITERES ZOOTECHNIQUES DE CROISSANCE	42
2.4.2- CRITERES BIOCHIMIQUES.....	42
2.5- COMPARAISON DE L'ACTIVITE DES PHYTASES VEGETALES ET DES PHYTASES FONGIQUES	42
2.6- COMPARAISON DE L'ACTIVITE DES PHYTASES VEGETALES ET DES PHYTASES MICROBIENNES.....	43
2.7- COMPARAISON DE L'ACTIVITE DES PHYTASES FONGIQUES ET MICROBIENNES ...	43
2.8- INFLUENCE DES PHYTASES SUR L'UTILISATION DIGESTIVE DES PROTEINES, DES MINERAUX ET DE L'ENERGIE METABOLISABLE	44
2.8.1- PROTEINES ET MINERAUX.....	44
2.8.2- ENERGIE METABOLISABLE	44
2.9- INFLUENCE DES PHYTASES FONGIQUES SUR LES PERFORMANCES DE CROISSANCE	45
2.9.1- GAIN DE POIDS, CONSOMMATION ET EFFICACITE ALIMENTAIRE	45
2.9.2- MINERALISATION OSSEUSE ET LA DISPONIBILITE DU PHOSPHORE.....	46
2.9.3- PHOSPHATEMIE	48
2.9.4- EFFETS CONJUGUES DE LA PHYTASE ET DE LA VITAMINE D ₃	48
2.9.5- INFLUENCE DES NIVEAUX D'APPORT DES PHYTASES.....	48
2.10- INTERET DES PHYTASES DANS L'ALIMENTATION DES MONOGASTRIQUES.....	49
2.10.1- INTERET ECONOMIQUE	49
2.10.2- INTERET ECOLOGIQUE OU ENVIRONNEMENTAL.....	51
2.10.2.1- Lutte contre la pollution par les phosphates	51
2.10.2.2- Diminution de la teneur en cadmium des denrées d'origine animale.....	52
2.10.3- INTERET PHYSIOLOGIQUE.....	52
DEUXIEME PARTIE : PARTIE EXPERIMENTALE	53
CHAPITRE I : MATERIEL ET METHODES.....	54

1.1.	LIEU ET PERIODE D'ETUDE	54
1.2.	MATERIEL	54
1.2.1-	CHEPTEL EXPERIMENTAL	54
1.2.2-	MATERIEL D'ELEVAGE	54
1.2.3-	ALIMENTATION ET COMPOSITION DE LA RATION	54
1.2.4-	MATERIEL DE LABORATOIRE	56
1.3-	METHODES	56
1.3.1-	CONDUITE DE L'ELEVAGE	57
1.3.1.1-	<i>Préparation du bâtiment</i>	57
1.3.1.2-	<i>Arrivée des poussins</i>	57
1.3.1.3-	<i>Préparation des lots</i>	58
1.3.1.4-	<i>Programme de prophylaxie</i>	59
1.3.1.5-	<i>Programme alimentaire et abreuvement</i>	59
1.3.1.6-	<i>Eclairage du bâtiment</i>	61
1.3.2-	PARAMETRES ETUDIES	61
1.3.2.1-	<i>Etat sanitaire</i>	61
1.3.2.2-	<i>Paramètres zootechniques</i>	61
1.3.2.2.1-	Consommation alimentaire et paramètres d'ambiance	61
1.3.2.2.2-	Poids vif des animaux	61
1.3.2.2.3-	Mortalité	61
1.3.2.2.4-	Poids de la carcasse	62
1.3.2.2.5-	Détermination des variables zootechniques	62
1.3.2.2.5.1-	Consommation alimentaire individuelle	62
1.3.2.2.5.2-	Gain moyen quotidien (GMQ)	62
1.3.2.2.5.3-	Indice de consommation (IC)	62
1.3.2.2.5.4-	Rendement carcasse (RC)	63
1.3.2.2.5.5-	Taux de mortalité (TM)	63
1.3.2.2.6-	Analyses de laboratoire	63
1.3.2.2.6.1-	Matière sèche	63
1.3.2.2.6.2-	Teneur en cendres brutes	65
1.3.2.3-	<i>Analyse statistique</i>	65
	<i>Chapitre II : RESULTATS ET DISCUSSION</i>	66
2.1-	RESULTATS	66
2.1.1-	PARAMETRES D'AMBIANCE	66
2.1.2-	PERFORMANCES ZOOTECHNIQUES	66
2.1.2.1-	<i>Poids vif</i>	66

2.1.2.2- <i>Gain moyen quotidien</i>	67
2.1.2.3- <i>Poids carcasse et Rendement de carcasse</i>	68
2.1.2.4- <i>Consommation alimentaire et Indice de consommation</i>	68
2.1.2.4.1- <i>Consommation alimentaire individuelle</i>	68
2.1.2.4.2- <i>Indice de consommation</i>	69
2.1.3- ANALYSES DE LABORATOIRE	70
2.1.3.1- <i>Poids Matière Sèche et Teneur en Matière Sèche</i>	70
2.1.3.2- <i>Minéralisation osseuse</i>	70
2.1.4- ETAT SANITAIRE DES POULETS	71
2.1.5- MORTALITE.....	72
2.1.6- ETUDE ECONOMIQUE.....	72
2.2- DISCUSSION	74
2.2.1- METHODOLOGIE.....	74
2.2.1- PARAMETRES D'AMBIANCE.....	74
2.2.2- EFFET DES PHYTASES SUR LA CROISSANCE	74
2.2.3- EFFET DES PHYTASES SUR LES CARACTERISTIQUES DE LA CARCASSE	75
2.2.4- EFFET DES PHYTASES SUR LA CONSOMMATION ET L'EFFICACITE ALIMENTAIRE.....	75
2.2.5- EFFET DES PHYTASES SUR LA MINERALISATION OSSEUSE.....	76
2.2.6- EFFET DES PHYTASES SUR L'ETAT SANITAIRE DES POULETS	76
2.2.7- EFFET DES PHYTASES SUR LA MORTALITE	76
2.2.8- ANALYSE ECONOMIQUE DE L'EFFET D'UNE SUPPLEMENTATION DES PHYTASES SUR LA PRODUCTIVITE.....	77
2.3- RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES.....	77
CONCLUSION.....	78
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	81
ANNEXES.....	95

INTRODUCTION

L'élevage, toutes espèces confondues, occupe une place appréciable dans l'économie nationale du Sénégal. Il représente en effet 35 p.100 de la valeur ajoutée du secteur agricole et participe pour 7,5 p.100 à la formation du PIB national. Les productions animales sont pratiquées par une part importante de la population rurale (30 p.100), pour laquelle elles assurent sécurité alimentaire, épargne, force de travail et fertilisation des champs. Au Sénégal, les productions avicoles sont dominées par le système d'élevage traditionnel, très répandu en milieu rural avec un effectif qui était d'environ 20.960.179 sujets (**TRAORE, 2006**). Toutefois, pour répondre à une démographie citadine sans cesse croissante et à une demande en protéines animales en constante augmentation, une aviculture semi-industrielle de proximité dans l'espace urbain et périurbain s'est développée, surtout dans la zone des Niayes qui offre un climat favorable à ce type d'élevage (régions de Dakar, Thiès et Saint-Louis). Selon les données statistiques, les couvoirs nationaux ont produit pour la filière avicole moderne au Sénégal en 2008, un effectif annuel de **11.386.108** poussins (**MINISTERE de L'ELEVAGE du SENEGAL, 2009**), **6 millions** de poulets de chair en 1998 dans la région de Dakar seulement selon **CARDINALE et al., (2000)**.

Dans des conditions d'élevage intensif, le coût alimentaire est estimé à 70% du coût total de production d'un poulet de chair (**RUDEAUX et BASTIANELLI, 1999**). Il est donc important de maîtriser les régimes alimentaires et de déterminer les besoins nutritionnels du poulet. Pour la fabrication d'aliment pour la production intensive d'œufs, de poulets de chair et de porc, les provendiers utilisent les céréales : le maïs ou le sorgho comme source d'énergie (55 à 60 p.100 du volume et 35 à 40 p.100 du coût de l'aliment), du tourteau de soja comme source de protéines (40 à 45 p.100 du volume et 55 à 60 p.100 du coût de production) et des concentrés industriels « prémix » de vitamines et minéraux (3 à 4 p.100 du volume et 7 à 8 p.100 du coût de l'aliment) (**CHANCY, 2005**). Le calcium et le phosphore sont en proportion les principaux minéraux dans l'organisme des animaux. Ils représentent à eux seuls 75 p.100 des minéraux de l'organisme et se localisent essentiellement au niveau de l'os, 99 p.100 du calcium et 80 à 89 p.100 du phosphore. Le phosphore est un élément métabolique et structurel indispensable à la vie. Un apport adéquat de phosphore dans l'aliment est déterminant pour assurer la croissance et le développement osseux des volailles. Dans les aliments pour les animaux à base de céréales, plus de la moitié du phosphore présent est organique, sous forme de phytates (**DEBICKI-GARNIER et al., 2007**). Selon **THEREZIEN et JOLLIET (2006)** le phosphore phytique ou phytate représente entre 50 p.100 et 80 p.100 du phosphore total des végétaux. Ces phytates ne sont pas utilisables par les animaux monogastriques comme source de phosphore. En effet, les monogastriques en général et les volailles en particulier ne possèdent pas le

matériel enzymatique (phytase) pour hydrolyser les phytates et libérer le phosphore nécessaire pour satisfaire leurs besoins physiologiques (PETRA et al., 2009). Pour satisfaire les besoins en phosphore de l'oiseau, les aliments sont donc supplémentés avec des sources de phosphore inorganique.

L'envolée des prix sur le marché des phosphates depuis la fin de l'année 2007 confronte aujourd'hui le secteur de l'alimentation animale à de nouveaux enjeux. Avec un coût de ces ressources minérales multiplié par 4 entre 2006 et 2008, l'optimisation des apports de phosphore (P) aux volailles est, en effet, devenue un enjeu économique de taille permettant de répondre de surcroît aux préoccupations environnementales (NARCY et al., 2009). Le phosphore minéral ajouté aux aliments composés pour volailles coûte fréquemment de 2 à 2,5 p.100 de la formule totale selon (SAUVEUR, 1989).

Les rejets de P dans l'environnement, notamment dans les zones à forte densité d'élevage, sont en effet, à l'origine du phénomène d'eutrophisation des eaux de surface correspondant au développement d'une flore de surface asphyxiant le milieu avec comme conséquences la disparition de la flore naturelle et la raréfaction de la vie aquatique. Face à ces préoccupations, la réduction des apports de P minéral aux volailles ainsi que la valorisation du phosphore d'origine végétale et la réduction de l'excrétion phosphorée, notamment par l'usage de phytase microbienne ou fongique, constituent des alternatives majeures.

Pour ce qui nous concerne, l'utilisation des phytases étant très peu connue en Afrique au Sud du Sahara, l'intérêt de ce travail est d'expérimenter dans les conditions qui sont les nôtres, l'effet des phytases d'origine bactérienne et fongique sur la croissance des poulets de chair au Sénégal.

Ce travail comporte deux parties :

- la première partie consacrée à la synthèse bibliographique, présente dans le chapitre premier le calcium et le phosphore dans l'aliment des volailles et dans le deuxième chapitre, les phytases et leur importance dans l'alimentation ;
- la deuxième partie qui est notre contribution, est réservée à l'étude expérimentale. Elle comprend deux chapitres :
 - ✓ le premier porte sur le matériel et méthodes ;
 - ✓ le deuxième traite des résultats et de la discussion.

PREMIERE PARTIE : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

**CHAPITRE I : CALCIUM ET PHOSPHORE DANS
L'ALIMENTATION DES VOLAILLES**

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

Chapitre I : CALCIUM ET PHOSPHORE DANS L'ALIMENTATION DES VOLAILLES

1.1- HISTORIQUE : ETAPES DE L'UTILISATION DU PHOSPHORE EN ALIMENTATION ANIMALE

L'évolution de l'utilisation du phosphore (P) en alimentation animale peut être caractérisée en six grandes périodes depuis la seconde guerre mondiale et des faits scientifiques marquants définissent ces périodes (**GUEGUEN, 2005**).

🚧 AVANT 1955

La période de la guerre a été marquée par une pénurie d'engrais phosphaté, ce qui a conduit à un net appauvrissement des fourrages. Il en résultait des subcarences en phosphore (P) chez les ruminants généralement. Les monogastriques couraient un risque moindre car recevant des céréales, et des farines animales riches en phosphore et en calcium. Ce problème était très préoccupant et avait justifié la tenue en 1949 des journées du phosphore organisées par la Centre National de la Recherche Scientifique (**CNRS**). Selon **GUEGUEN (2005)**, les « normes » en vigueur étaient celles du National Research Center (**NRC**) Américain reprises partout en Europe.

🚧 De 1955-1965

La prise de conscience de l'intérêt d'un apport supplémentaire de P a progressivement augmenté, notamment après la parution de mise au point de synthèse, l'une par J. Coléou en 1957 dans la Revue de l'élevage sur «*Alimentation minérale des bovins*», l'autre par Y. Henry en 1960 dans une brochure AFCA sur «*les compléments dans l'alimentation animale*». La complémentation s'imposait pourtant de plus en plus pour répondre à l'augmentation des performances zootechniques générée par le progrès génétique. Parallèlement, des travaux étaient réalisés à Institut National de Recherches Agronomiques (**INRA**) de Jouy-en-Josas sur la composition minérale des fourrages, notamment sur les divers facteurs de variation des teneurs en phosphore (espèce, stade de développement, saison...).

🚧 De 1965-1973

Le marché des phosphates a explosé pour diverses raisons et nous pouvons citer entre autres :

- l'extension après 1970 du maïs ensilé pauvre en P chez les bovins ;
- le remplacement partiel du maïs par du manioc très pauvre en P chez les monogastriques ;
- les besoins accrus des animaux résultant de l'intensification de l'élevage.

Des travaux de recherche et d'expertises sur les critères de qualité des phosphates ont été réalisés, et ont conduit à la mise sur le marché du test de solubilité critique des phosphates, ayant permis d'éliminer les très mauvais phosphates.

De 1973-1980

Le choc pétrolier de 1973 a entraîné la crise du soja (riche en P) et le triplement du prix des phosphates marocains. Les phosphates sont donc subitement devenus très chers et des économies de P ont été encouragées. Le retour prévisible des mauvais phosphates a amené, le Comité Interministériel de l'Industrie de l'Alimentation Animale (CIIAA), à valider en France en 1977 le test de solubilité citrique du phosphore. De nouvelles recommandations pour les ruminants furent publiées par l'INRA en 1978 et par l'ARC britannique en 1980, ces dernières se distinguant par une forte baisse des besoins en phosphore des ruminants, principalement due à une évaluation faible du besoin net d'entretien. D'autres nouvelles recommandations furent publiées aussi pour les porcs par GUEGUEN et PEREZ (1981).

De 1980-1992

Les travaux et mises au point scientifiques ont principalement porté sur la réhabilitation du phosphore en nutrition des ruminants, Une journée du Cycle Approfondi de l'Alimentation Animale (CAAA) était organisée à l'INA Paris-Grignon en 1983 pour faire «*le point sur le phosphore en alimentation animale*», permettant en particulier de justifier la position de l'INRA sur le besoin d'entretien chez les ruminants. En 1984, l'INRA publiait de nouvelles recommandations pour les animaux monogastriques, avec notamment des recommandations d'apport de P pour les truies revues à la baisse. En 1988, une mise à jour des recommandations de l'INRA pour les bovins, les ovins et les caprins était publiée et en 1991 paraissaient les nouvelles recommandations britanniques AFRC, marquées par un besoin d'entretien en hausse et variable en fonction de la quantité de matière sèche ingérée.

APRES 1992

La préoccupation environnementale est apparue, avec le souci du rôle joué par le phosphore rejeté dans l'eutrophisation des eaux superficielles. Cette période a aussi été marquée par le retour du blé plus riche en P et en phytase que le maïs et le manioc, surtout par l'introduction des phytases microbiennes dans l'alimentation des monogastriques. Enfin, en 2000, l'interdiction totale des farines de viande et d'os privait l'alimentation animale d'une quantité de P de bonne biodisponibilité et recyclable, soit un équivalent d'environ 100 000 tonnes de phosphate bicalcique, accordant ainsi une nouvelle place aux phosphates minéraux (GUEGUEN, 2005). Depuis 2000, de nouveaux Apports Journaliers Recommandés (AJR) pour les ruminants, ont été publiés par le NRC américain (2001), cité par MESCHY ET

RAMIREZ-PEREZ (2005) et la France (**MESCHY, 2002**) (**tableau I**). La principale difficulté rencontrée pour la formulation de recommandations actualisées pour les volailles, réside dans la définition de la notion de biodisponibilité du phosphore pour les volailles (**LESCOAT et al., 2005**).

Tableau I : Comparaison des besoins physiologiques nets d'une vache en lactation (750 kg de poids vif, 35 l de lait/j, ingestion de 23 kg de MS) dans 4 pays

	USA 2001	France 2002	Pays-Bas 2003	Danemark 2005
Entretien (g/j)	24,4	20,5	17	24,4
Lactation (g/j)	31,5	31,5	31,5	35
Total (g/j)	55,9	52	48,5	59,4

Source : **MESCHY et RAMIREZ-PEREZ (2005)**

1.2- METABOLISME PHOSPHOCALCIQUE CHEZ LE POULET DE CHAIR

1.2.1- 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'*œsophage* 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 (**SMITH, 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 (SMITH, 1997).

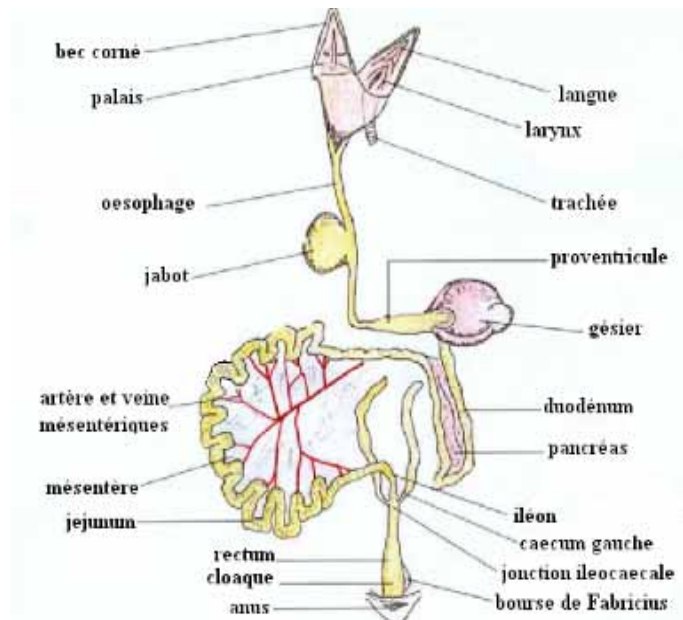


Figure 1: Tractus digestif du poulet

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 monocalciques (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 monocalciques solubles. Elle sécrète aussi des phosphatases qui permettent la formation des phosphates monocalciques.

1.2.2- ABSORPTION

1.2.2.1- Lieu d'absorption

D'après LARBIER et LECLERCQ (1992), l'essentiel de l'absorption du calcium a lieu au niveau du *duodénum* et du *jéjunum*. Chez le poulet, le rat, le chien et le mouton, le phosphore est absorbé essentiellement au niveau du *jéjunum*, 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.

1.2.2.2- 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 qu'une diffusion passive des ions phosphates 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 Protein) dont la synthèse dépend d'un dérivé actif de la vitamine D, la $1,25 - (\text{OH})_2 \text{D}_3$. 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 pores et pas du tout par les oiseaux (**INRA, 1991**).

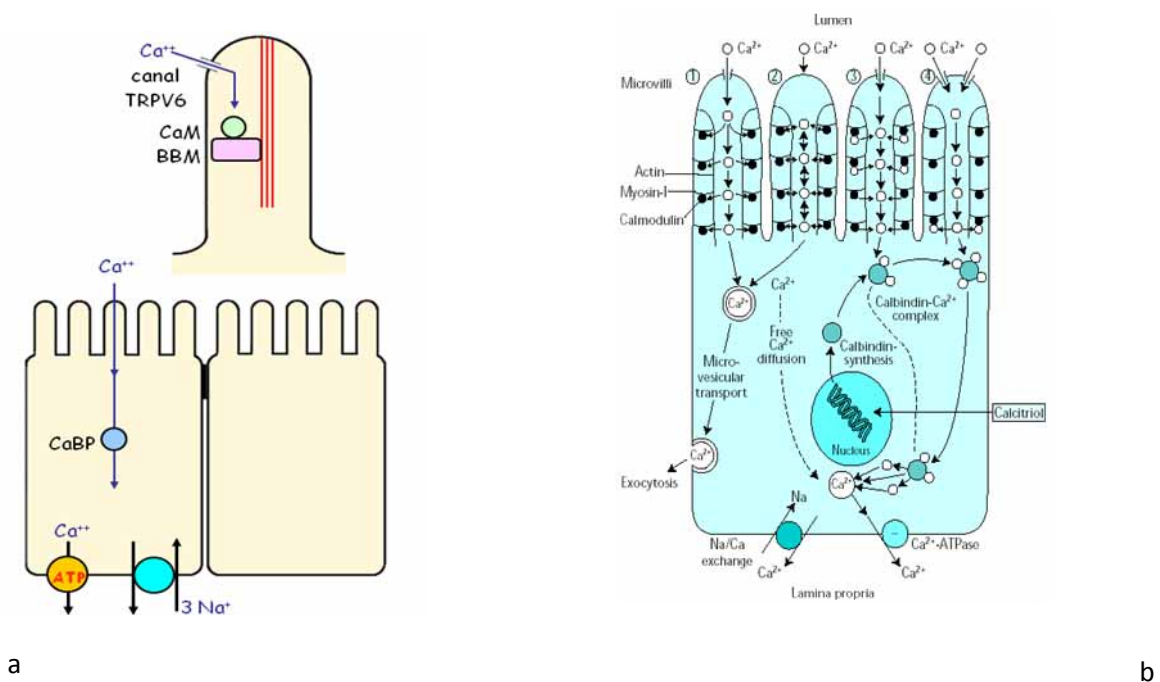


Figure 2 : Etapes de l'absorption intestinale du calcium

1.2.2.3- 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 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.

1.2.2.4- Facteurs de variation de l'absorption du phosphore

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

1.2.2.4.1- 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 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'animal* : 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 selon **SELL et al., (1987)**, cité par **SAUVEUR (1992)**.

1.2.2.4.2- 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 végétale, 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 contribue 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. **QIAN et al. (1996)** et de **LIU et al. (1998)** cité par **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.

1.2.2.4.3- Facteurs liés à la source de phosphore

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

1.2.2.4.3.1- Les phosphates inorganiques

Ces facteurs sont propres à la nature du produit.

- *La finesse des particules* : **GILLIS et al.** cités par **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 selon **FARDEAU** cité par **THIONGANE (1982) (tableau II)** ;
- *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)**.

1.2.2.4.3.2- 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 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 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 orthophosphates 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 (**KEMME, 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**).

Tableau II : Valeur biologique comparée des phosphates inorganiques (p.100)

	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)**

1.2.3 - DISTRIBUTION ET ROLE DU CALCIUM ET DU PHOSPHORE DANS L'ORGANISME

1.2.3.1- 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 al., 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-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**).

1.2.3.2- 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, l'expression de **JAVILLIER** cité par **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 al., 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**).

1.2.4- RETENTION ET REJET DE PHOSPHORE ET DE CALCIUM

1.2.4.1- 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 III et IV**). 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 et al., 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 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.

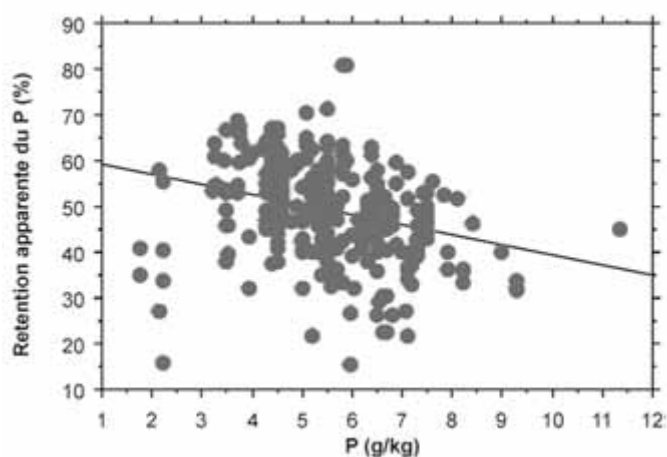


Figure 3: Relation entre la teneur en P (g/kg) de l'aliment et la rétention apparente de P (%)
source : **LESCOAT et al. (2005)**

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

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

Source: **LESCAOT et al. (2005)**

Tableau IV: Influence du niveau d'activité phytasique sur la rétention apparente du phosphore phytique chez le poulet de chair.

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 : **LESCAOT et al. (2005)**

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

1.2.5- REGULATION DU METABOLISME 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.

1.2.5.1- Rôle de la parathormone

La parathormone est sécrétée par les cellules principales de la glande parathyroïdienne. C'est un polypeptide de 84 acides aminés 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 y a superposition d'un effet hyperphosphatémiant (mobilisation osseuse) et d'un effet hypophosphatémiant (excrétion urinaire) (**LARBIER et LECLERCQ, 1992**).

1.2.5.2- Rôle de la vitamine D

La vitamine D ou cholécalciférol 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 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.

1.2.5.3- 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'œstradiol 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**).

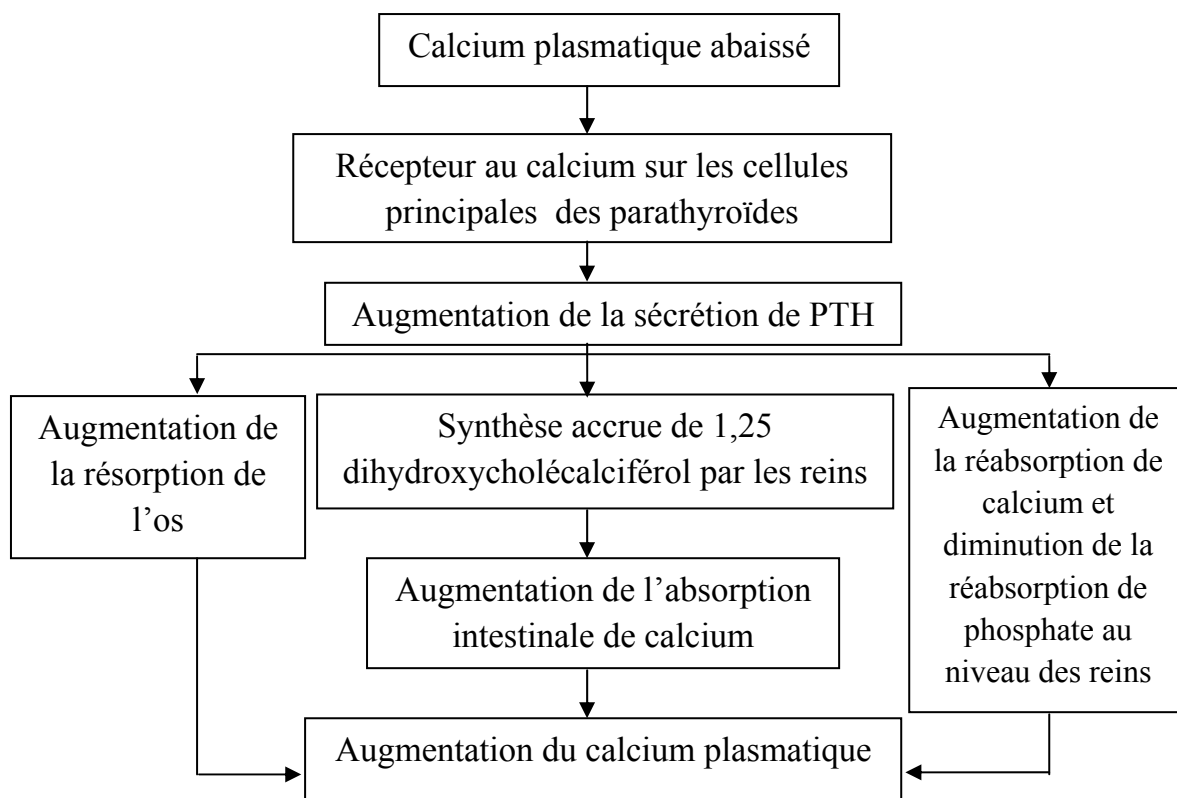


Figure 4 : Diagramme schématisant les principales actions de la parathormone (PTH) (POCOCK et RICHARDS, 2004)

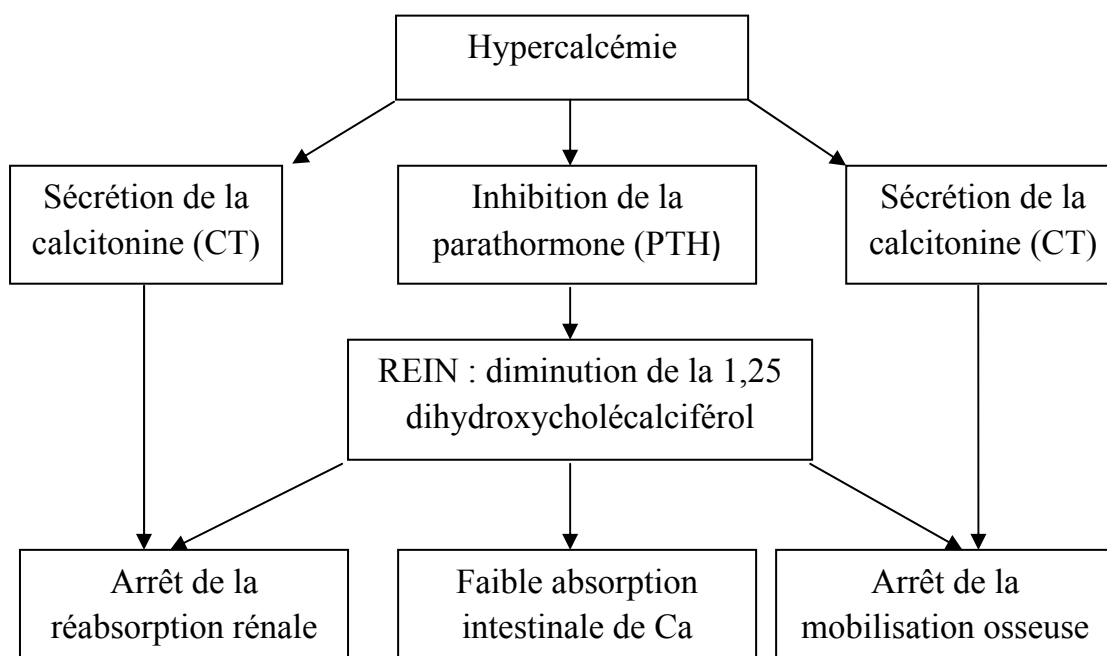


Figure 5: Régulation du métabolisme calcique en cas d'hypercalcémie (LARBIER et LECLERCQ, 1992)

1.3. DIFFERENTES SOURCES DE CALCIUM ET DE PHOSPHORE DANS LA RATION DES POULETS DE CHAIR

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

1.3.1- ORIGINE VEGETALE

1.3.1.1- 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 presque dépourvu de calcium avec 0,02 p.100 de la matière sèche (**ANSELME, 1987**) (**tableau V**).

Tableau V : Composition en calcium et phosphore de quelques matières premières disponibles au Sénégal

Matières premières	Matière sèche (MS)	Calcium (p.100 de MS)	Phosphore assimilable (p.100 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	89	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)**

1.3.1.2- Phosphore phytique : acide phytique et phytate

1.3.1.2.1- 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, 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).

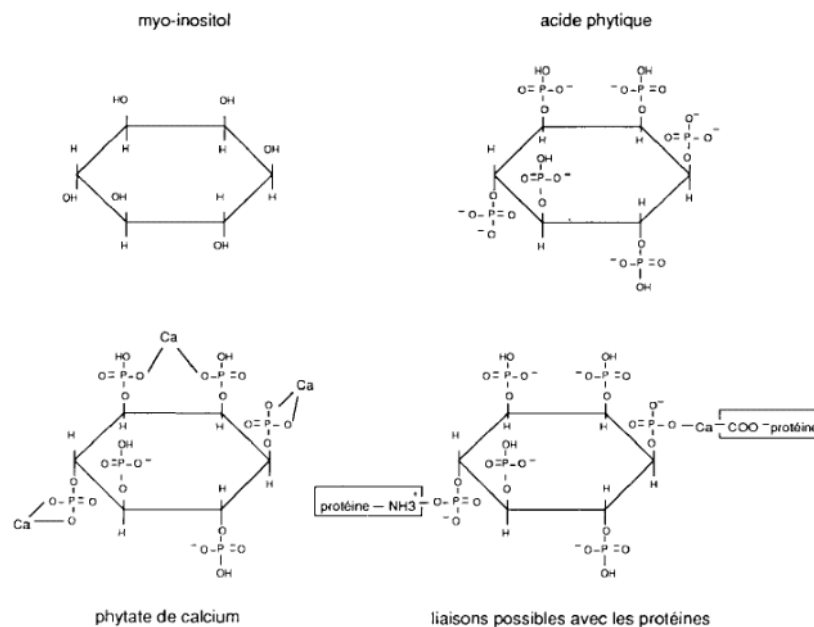


Figure 6 : Structure chimique du myo inositol, de l'acide phytique et des phytates

Source : SAUVEUR (1989)

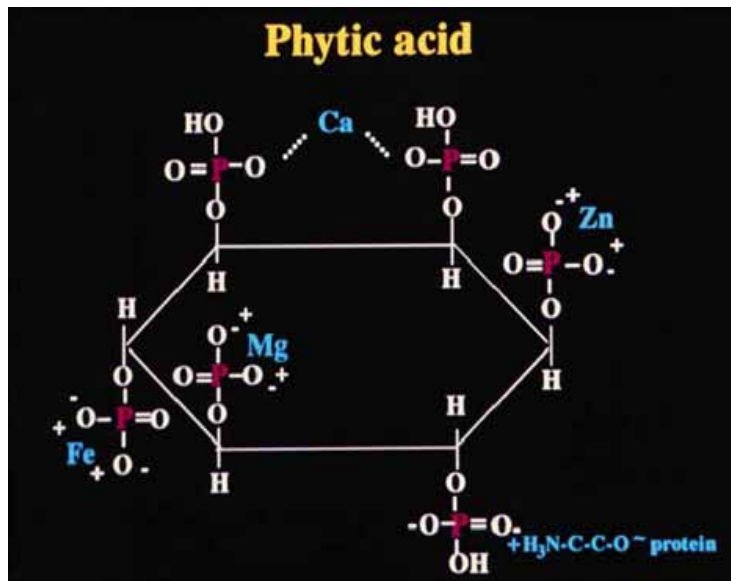


Figure 7 : Structure de l'acide phytique

Source : MENDOZA PARRA (2002)

1.3.1.2.2- 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). BOS (1986) cité par POINTILLART (1994) donne la répartition des différents inositol-phosphates dans quelques matières premières (tableau VI).

Tableau VI : Répartition des différents inositol-phosphates dans quelques matières premières rapportées à sa matière sèche en g/Kg.

	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 : BOS (1989) cité par POINTILLART (1994)

1.3.1.2.3- 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). REDDY et al., 1982 cités par (POINTILLART, 1994) donnent la localisation de l'acide phytique dans certains grains (tableau VII).

Tableau VII : 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	Tendre	0,32	-
	Endosperme	Traces	2
	Germe	1,10	13
	Tégument	0	0
	Aleurone	1,16	87
Riz	Brun	0,25	-
	Endosperme	Traces	1,2
	Germe	0,98	7,6
	Péricarpe	0,95	80

(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 : REDDY et al., 1982 cités par POINTILLART (1994)

1.3.1.2.4- 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 VIII et IX).

Tableau VIII : 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)

Tableau IX : 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)

1.3.2- 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 leurs différences 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**).

1.3.3- ORIGINE MINERALE

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

1.3.3.1- 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.

1.3.3.2- 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-ammoniques (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 base du système de phosphore digestible pour les porcs (JONDREVILLE et al., 2005) ou disponible pour les volailles (LESCOAT et al., 2005).

INRA-AFZ (2004), ont déterminé les valeurs biologiques relatives des principaux phosphates (tableau X).

Tableau X: 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)

1.4- BESOINS EN CALCIUM ET PHOSPHORE DES POULETS DE CHAIR

Les animaux doivent trouver dans leurs aliments tous les constituants permettant le renouvellement de la matière vivante, son accroissement éventuel (croissance, gestation) et la synthèse des productions (lait, œuf). Les quantités d'éléments assimilables nécessaires à toutes ces activités définissent les besoins (INRA, 1991). Dans une approche plus globale, le besoin en phosphore a été défini comme l'apport de P permettant de maximiser les performances et la minéralisation osseuse (NARCY et al., 2009). Le besoin de phosphore, tout comme le calcium comporte deux parties : le besoin de production et le besoin d'entretien. Mais la part la plus importante du besoin de ces minéraux majeurs correspond à la production. D'une manière générale, le besoin en P pour atteindre la vitesse de croissance maximale est inférieur à celui correspondant à la minéralisation maximale de l'os (LARBIER et LECLERCQ, 1992). Lorsque les besoins ne sont pas couverts, on aboutit à une carence qui pour le

phosphore entraîne une perte de l'appétit, un ralentissement de la croissance, des troubles locomoteurs graves et de la mortalité ; pour le calcium, on observe essentiellement, la diminution de la minéralisation de l'os, surtout chez les volailles en phase de croissance.

1.4.1- REGLE D'UTILISATION DU PHOSPHORE ET DU CALCIUM

La couverture des besoins phosphocalciques impose un certain nombre de règles. Selon **FERRANDO (1964)**, ces règles sont au nombre de quatre :

- nécessité d'un apport minimum de calcium assimilable ;
- nécessité d'un apport minimum de phosphore assimilable ;
- un rapport phosphocalcique convenable chez les volailles ; ce rapport varie selon qu'il s'agit de poulets de chair ou de poules pondeuses.
- un rapport de la vitamine D 3.

Le rapport Ca/P influence le GMQ : le maximum est obtenu autour d'un ratio de 1,4. Pour les valeurs les plus hautes du rapport, le GMQ est diminué surtout dans des situations où Ca et P ont évolué simultanément et que le phosphore est réduit à niveau de subcarence. Un modèle quadratique décrivant l'évolution de l'IC en fonction du rapport Ca/P indique que le minimum de l'indice de consommation est observé lorsque le rapport Ca/P avoisine 1,4 (**LESCOAT et al., 2005**). Pour **LARBIER et LECLERCQ (1992)**, pour un même apport de phosphore en dessous du besoin, la croissance est moins ralentie si l'aliment présente un rapport Ca/P ≥ 2 .

De nombreux travaux ont montré qu'un déséquilibre phosphocalcique augmentait l'incidence de la dyschondroplasie tibiale (**HUBBARD, 2006**).

1.4.2- APPORTS RECOMMANDÉS EN CALCIUM ET PHOSPHORE

Les besoins recommandés aux volailles pour assurer à la fois la croissance, la production et l'efficacité alimentaire, varient avec la phase de développement.

Les **tableaux XI et XII** nous donnent quelques recommandations.

Tableau XI: Apports alimentaires recommandés pour le poulet de chair (g/kg d'aliment)

Période (semaines)	0-3	3-abattage
Concentration énergétique (kcal/Kg)	3250	3250
Calcium	10	9
Phosphore disponible	4,2	3,8

Source : **LARBIER et LECLERCQ (1992)**

Tableau XII : Apports recommandés en minéraux pour le poulet (% du régime)

		INRA (1989)	HUBBARD (2006)
DEMARRAGE	E.M. (kcal/kg)	3000	3000-3050
	Calcium	1,03	1-1,05
	Phosphore total	0,68	-
	Phosphore disponible	0,43	0,45
CROISSANCE	E.M. (kcal/kg)	3000	3050-3100
	Calcium	0,93	0,95-1
	Phosphore total	0,67	-
	Phosphore disponible	0,42	0,43
FINITION	E.M. (kcal/kg)	3000	3100-3150
	Calcium	0,83	0,90-0,95
	Phosphore total	0,61	-
	Phosphore disponible	0,36	0,40

1.4.3- OPTIMISATION DES PERFORMANCES ZOOTECHNIQUES EN FONCTION DE L'APPORT DE PHOSPHORE

Des études menées par **LESCOAT et al., (2005)** sur des poulets de chair en croissance âgés de 22 à 24 jours ont porté sur l'effet de l'apport de phosphore sur l'optimisation des performances zootechniques notamment, le gain moyen quotidien (GMQ) et l'indice de consommation (IC). Ces travaux montrent que le GMQ augmente jusqu'à une teneur de P comprise entre 6 et 7 g/kg d'aliment puis se stabilise pour des concentrations supérieures.

Pour ce qui est de l'IC, il est minimal, lorsque l'aliment contient 6 à 7 g/kg d'aliment de phosphore. Lorsque l'apport de P est exprimé en ingestion journalière de P, l'IC est améliorée, jusqu'à une ingestion moyenne journalière de 400 mg de P pour les trois premières semaines de vie.

1.4.4- EFFETS DES NIVEAUX DE CALCIUM ET DE PHOSPHORE DES REGIMES ALIMENTAIRES SUR LA CROISSANCE DES POULETS DE CHAIR

Selon **SAUVEUR (1988)** et **LETERRIER et al. (1998)** la dyschondroplasie est d'autant plus fréquente que les régimes sont plus riches en phosphore et moins riches en calcium ou si le rapport Ca/P de l'aliment est réduit. Sa fréquence diminue lorsque le rapport Ca/Pd (phosphore disponible) augmente et une valeur minimale de 2 de ce rapport paraît nécessaire pour éliminer la plupart des problèmes.

Un ratio de Ca/P élevé (1,7) est mieux toléré en période de démarrage et si l'apport de phosphore est suffisamment élevé.

Le rapport Ca/P influence aussi le GMQ. Le maximum est obtenu autour d'un ratio de 1,4. L'évolution de l'IC en fonction du rapport Ca/P indique que le minimum de IC est observé lorsque le rapport avoisine 1,4 (**LESCOAT et al., 2005**).

Les résultats de la méta-analyse (*synthèse des données ou une méthode systématique qui utilise des techniques statistiques, pour combiner les résultats de différentes études pour obtenir une estimation quantitative de l'effet global d'une intervention donnée ou variable sur un résultat défini*) montrent l'importance du rapport Ca / phosphore non phytique (PNP) sur les performances de croissance et sur la minéralisation osseuse du poulet de chair entre 1 et 21 jours.

MAGNIN et al. (2009a) ajoutent que la maximalisation de la consommation d'aliment, de la vitesse de croissance et de la minéralisation osseuse apparaît dépendre beaucoup plus du rapport Ca/PNP. Les meilleurs résultats sont obtenus pour des rapports Ca/P total de 1,3 et Ca/PNP de 2 en phase démarrage ; des rapports Ca/P total de 1,3 et Ca/PNP de 2,4 en phase de finition. La relation négative des performances avec l'augmentation du rapport apparaît clairement. A niveau de Ca constant, l'augmentation du rapport Ca/PNP par baisse de l'apport en PNP, diminue significativement le dépôt minéral.

La réduction du phosphore (Pd) dégrade significativement l'indice de consommation et la minéralisation tibiale si le rapport Ca/P est diminué, alors que les performances sont maintenues à Ca/P constant à 1,4 (**MAGNIN et al., 2009b**).

1.4.5- MAITRISE DES APPORTS DE CALCIUM, UNE VOIE D'ECONOMIE DU PHOSPHORE

1.4.5.1- Performance de croissance

En l'absence de phytase, pour des apports de phosphore non phytique (PNP) faibles, l'augmentation de la concentration de Ca dans les régimes aggrave la détérioration de la consommation journalière moyenne (CJM) et du GMQ et ce, de façon d'autant plus importante que l'apport de PNP est faible. D'après les travaux de **NARCY et al. (2009)**, en augmentant l'apport de Ca de 6 à 10 g/kg avec 3,5 g/kg de PNP, la CJM et le GMQ sont diminués, respectivement, de 4,5% (46,4 à 44,3 g/j) et 8,2% (32,9 à 30,2 g/j) tandis que pour un apport de PNP de 1,5 g/kg, les mêmes paramètres sont diminués, respectivement, de 13% (34,3 à 30,0 g/j) et 23% (22,5 à 17,3 g/j).

D'après les résultats de la méta-analyse, dans les régimes contenant 10 g/kg de Ca, 4,5 et 4,4 g/kg de PNP sont nécessaires pour maximiser respectivement la CJM et le GMQ tandis que le simple fait d'abaisser l'apport de Ca à 6 g/kg permet d'obtenir les mêmes performances avec seulement 3,4 et 3,0 g/kg de PNP. Il apparaît clairement que les apports de PNP peuvent être réduits sans conséquences délétères sur les performances de croissance des poulets à condition de réduire parallèlement les apports de Ca.

Le ratio Ca/P permettant de maximiser les performances devra être adapté à chaque niveau de P utilisé. D'après les données de la méta-analyse, la maximisation du GMQ était obtenue avec des rapports Ca/P de 2,3 et 2,0 pour des apports respectifs de PNP de 4,4 et 3 g/kg.

1.4.5.2- Minéralisation osseuse

Le phosphore et le calcium sont les constituants majeurs de l'hydroxyapatite formant la trame minérale de l'os, selon un rapport Ca/P de 2,1. Un apport conjoint et équilibré des deux éléments est donc essentiel à la croissance de l'os. D'après les résultats de la méta-analyse, en l'absence de phytase, pour des apports de PNP faibles, l'augmentation de Ca dans le régime des poulets exercerait un effet délétère sur les cendres tibiales et ce, de façon d'autant plus marquée que le PNP est bas (**NARCY et al., 2009**).

LARBIER et LECLERCQ (1992), indiquent pour 10 g de Ca par kg, plus de 5,0 et 4,4 g/kg de PNP sont nécessaires respectivement pour les cendres tibiales et le GMQ alors que pour 6 g/kg de Ca, 4,2 et 3,0 g/kg de PNP sont nécessaires.

Des baisses de 12 et 15% de la concentration de cendres tibiales, en augmentant le Ca de 4,4 g/kg à respectivement 8,5 et 10,4 g/kg (PNP=2g/kg) ont été observés. Les résultats montrent donc qu'il est possible de réduire l'apport de PNP, sans conséquences délétères sur les performances, si l'apport de Ca est simultanément abaissé. Cependant, cette baisse des apports de Ca doit être maîtrisée pour ne pas compromettre la minéralisation osseuse.

1.4.6- INFLUENCE DU PHOSPHORE PHYTIQUE SUR LA CROISSANCE

HAYES et al. cités par **SAUVEUR (1989)**, ont constaté qu'une complémentation d'un régime à base de maïs par du son de blé (riche en phytase) s'est avérée avoir un effet plus fort sur le gain de poids que sur la minéralisation osseuse. Pour eux, il serait possible que le phosphore phytique soit légèrement moins efficace pour l'accrétion osseuse que pour d'autres synthèses impliquées dans le gain de poids. Seulement le taux d'incorporation du calcium dans la ration n'a pas été précisé. Le **tableau XIII** ci-dessous montre l'efficacité du phosphore de certaines céréales sur la croissance corporelle et la minéralisation osseuse du poulet. Les résultats du lot « maïs » sont significativement inférieurs à ceux des trois autres lots ($P < 0,01$) qui ne diffèrent pas entre eux. Aussi, chaque régime contient 0,19 % de phosphore apporté par la céréale et 0,06 % apporté par du phosphate de sodium.

Tableau XIII : Efficacité du phosphore de quatre céréales sur la croissance corporelle et la minéralisation osseuse du poulet de chair

Céréale de régime	Maïs	Blé dur	Blé	Orge
Mortalité	33	10	20	15
Gain de poids (g/13j)	107	170	184	175
Indice de consommation	1,43	1,20	1,32	1,26
Résistance à la rupture de l'os (N)	1,05	2,28	2,90	2,57
Cendre de l'os (%)	20,1	22,2	23,2	23,3

Source : **HAYE et al. cité par SAUVEUR (1989)**

1.4.7- INFLUENCE DES PHYTATES SUR LA DISPONIBILITE DES AUTRES MINERAUX

SAUVEUR (1989), indique que le phosphore phytique (PP) fixe les oligo-éléments d'intérêt nutritionnel plus fortement que les macro-éléments alcalino-terreux.

Pour **POINTILLARD (1994)**, ce sont les phytates plus que les fibres (celluloses, hémicelluloses, pectine etc.) qui sont responsables des problèmes de disponibilité des minéraux, notamment Ca, Mg, Zn, Fe, Cu.

Selon **FEILLET (2000)**, la disponibilité en certains éléments minéraux du blé peut se trouver affecter par la présence de phytate qui, en se complexant à eux, les rend inassimilables. Le calcium est en particulier touché. L'interaction entre phosphore phytique et Cu est moins forte et n'aurait de conséquences importantes que lors d'apports alimentaires faibles en Cu (**JONDREVILLE et al., 2002**).

La présence d'acide phytique dans les matières premières d'origine végétale rend le zinc très peu disponible chez les animaux monogastriques (**NYS et al., 2003**).

Le PP renferme 6 fonctions phosphates (PO₄) et s'associe à divers cations constituant des sels peu solubles de Ca²⁺, Mg²⁺, Fe²⁺, Zn²⁺ et autres nutriments (protéines, acides aminés). Non hydrolysé, il constitue un composé anti-nutritionnel en réduisant la disponibilité de ces éléments pour l'animal (**BERNADET et al., 2006**).

1.4.8- INFLUENCE DE LA TEMPERATURE SUR LES APPORTS EN CALCIUM ET EN PHOSPHORE DES RATIONS POUR POULET DE CHAIR

Le facteur majeur qui affecte la consommation alimentaire est la concentration énergétique du régime. Son augmentation entraîne une baisse de la consommation alimentaire (**SMITH, 1992**). Mais la consommation alimentaire et la croissance des poulets de chair sont aussi limitées par les fortes températures (**YO et al., 1994**). L'efficacité de la conversion alimentaire est optimale entre 21°C et 26°C (**SMITH, 1992**). En climats chauds et au-delà de 27-28°C la température corporelle de l'oiseau s'élève, les poules réduisent leur consommation, -16% selon **BORDAS et MINVIELLE (1997)**, avec pour conséquence un apport insuffisant de nutriments essentiels et une baisse de la production (**EEKEREN et al., 2006**). Pour une production optimale, la température dans le poulailler doit être comprise entre 29 et

31°C au démarrage, 22 et 28 °C à la croissance et 18 et 21°C à la finition (**SANOFI, 1996**).

Les céréales utilisées dans la fabrication des aliments des monogastriques (volailles et porcs), contiennent une bonne quantité de phosphore et d'autres minéraux. Mais, la grande partie de ce phosphore, généralement sous forme phytique, n'est pas utilisé en par les animaux du fait de l'absence de synthèse des phytases, enzymes capables d'hydrolyser l'acide phytique. L'utilisation des phytases exogène est une alternative. Dans le chapitre suivant nous verons les phytases et leurs importances dans l'aliments des monogastriques.

Chapitre II : PHYTASES ET LEURS IMPORTANCES DANS L'ALIMENTATION DES VOLAILLES

2.1- HISTORIQUE DE L'UTILISATION DES PHYTASES DANS L'ALIMENTATION ANIMALE

Selon SAUVEUR (1989) et POINTILLART (1994), NELSON et collaborateur en 1971 furent les premiers à ajouter dans la ration pour poulet de chair une préparation phytasique d'*Aspergillus ficuum*. Ils ont observé une hydrolyse des phytates dans le tube digestif des poulets avec pour effet positif aussi bien sur le gain moyen quotidien (GMQ) que sur la minéralisation osseuse. Des essais avaient été réalisés chez le porc avec des cultures de levures mais sans succès.

Il a fallu attendre 1990 pour voir publier les premiers travaux sur les possibilités d'améliorer l'utilisation du phosphore chez les porcs et les volailles à partir de 2 phytases produites par culture d'*Aspergillus ficuum* (SIMONS et al., 1990) et d'*Aspergillus niger* (NASI, 1990).

SIMONS et al. (1990) ont montré que 85 p.100 du phosphore présent dans le maïs sous forme de phytate étaient hydrolysés après une heure d'incubation à 40°C en présence de phytase fongique et que la quantité de phosphore dans les déjections était diminuée de 50 p.100. De même, l'ajout de phytase microbienne aux régimes des porcs en croissance a augmenté l'absorption apparente de phosphore de 24 p.100 et la quantité de phosphore dans les fèces a été rendue à moins de 35 p. 100.

De nombreux autres travaux ont été réalisés jusqu'à présent dans le but de mettre en évidence les effets des phytases.

Selon PERNEY et al. (1993), l'incorporation de phytase dans l'alimentation des poussins de 3 et 5 jours d'âge a permis d'obtenir de meilleurs résultats quant au gain de poids, à la conversion alimentaire, aux cendres du tibia et des orteils, à la résistance du tibia à la rupture qui ont été augmentés ; l'excrétion du phosphore dans l'environnement quant à elle a diminué.

DILGER et al. (2004) ont évalué l'efficacité d'une nouvelle phytase microbienne dans l'alimentation des volailles. Ils ont montré à travers leur expérimentation une amélioration des performances de croissance, de la minéralisation osseuse et l'utilisation de phosphore chez les poussins chair.

JENDZA et al. (2006) ont montré l'efficacité et l'équivalence d'une phytase dérivée d'*Escherichia coli* pour le remplacement du phosphore dans l'alimentation des poulets de chair et les jeunes porcs.

COWIESON et al. (2009) ont montré dans leur expérimentation, l'effet positif des phytases d'origine microbienne ou fongique sur la réduction du flux des acides aminés chez les poulets en croissance lorsqu'on augmente le taux de phytates dans l'alimentation.

PETRA et al. (2009b) ont additionné des doses croissantes de phytase (phytate 6-phosphatase) dans l'aliment et cela leur a permis d'améliorer significativement l'utilisation iléale apparente du phosphore.

2.2- 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*).

2.2.1- PHYTASES VEGETALES

2.2.1.1- Sources et activités phytasiques

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 XIV**). Hormis le blé, le seigle et leur hybride ainsi que le triticales qui 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 XIV: 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 Arachide	60 ±30 0
-------------------------------------	-------------

Source : **POINTILLARD (1994)**

2.2.1.2- 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 XV**).

Tableau XV : 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)**

2.2.2- 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 RAMIREZ-PEREZ, 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 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.

2.2.3- 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.

2.3- MECANISME D'ACTION DES PHYTASES

2.3.1- ACTIVITE PHYTASIQUE

Le rôle des différentes phytases présents 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 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*.

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 De 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.

2.3.2- MECANISME 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).

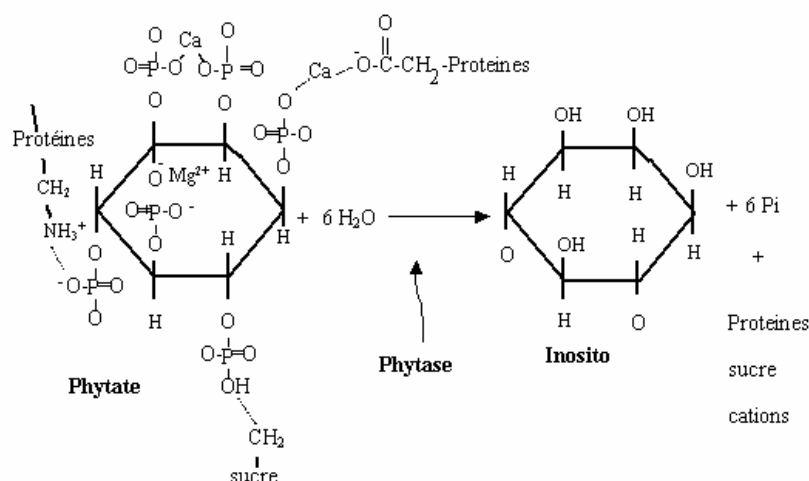


Figure 8 : Hydrolyse de l'acide phytique par la phytase
Source : HASSOUNI et al. (2006)

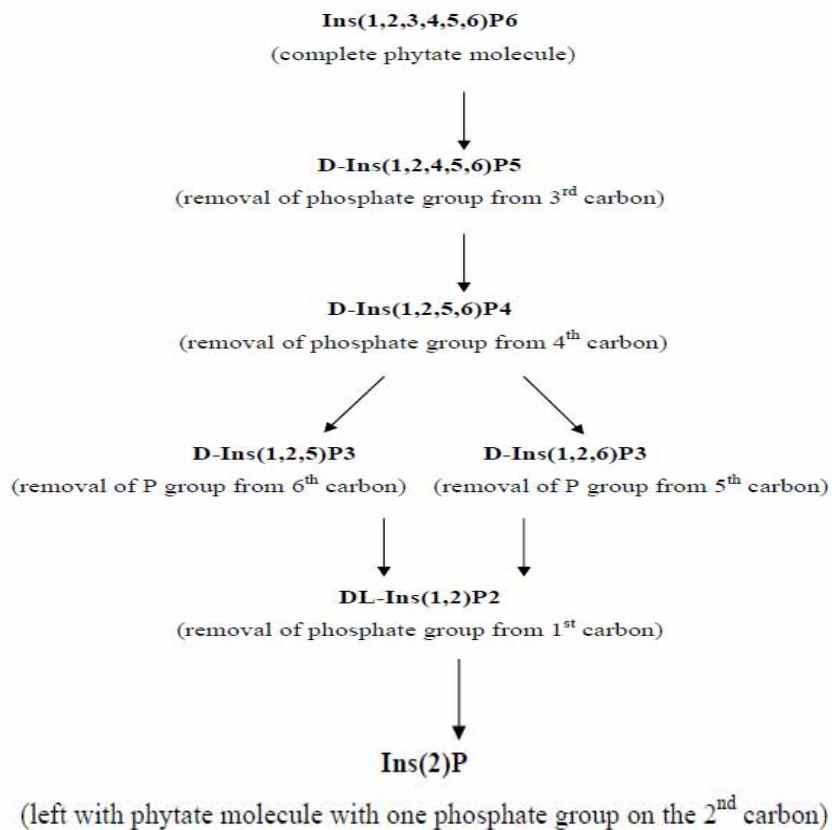


Figure 9: Etapes de l'hydrolyse d'une phytate par une phytase

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.

2.3.2.1- FACTEURS INFLUENÇANT L'ACTIVITE PHYTASIQUE

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

2.3.2.1.1- FACTEURS PHYSICO-CHIMIQUES

2.3.2.1.1.1- 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 De 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.

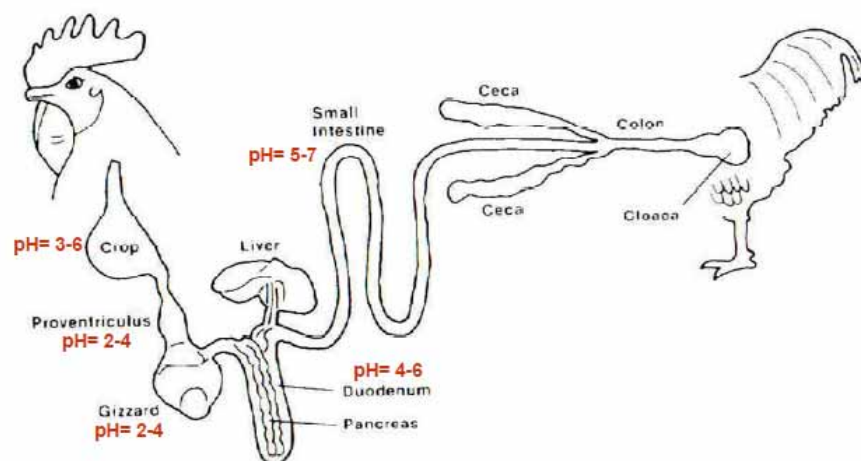


Figure 10: pH dans le tractus gastro-intestinal du poulet

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.

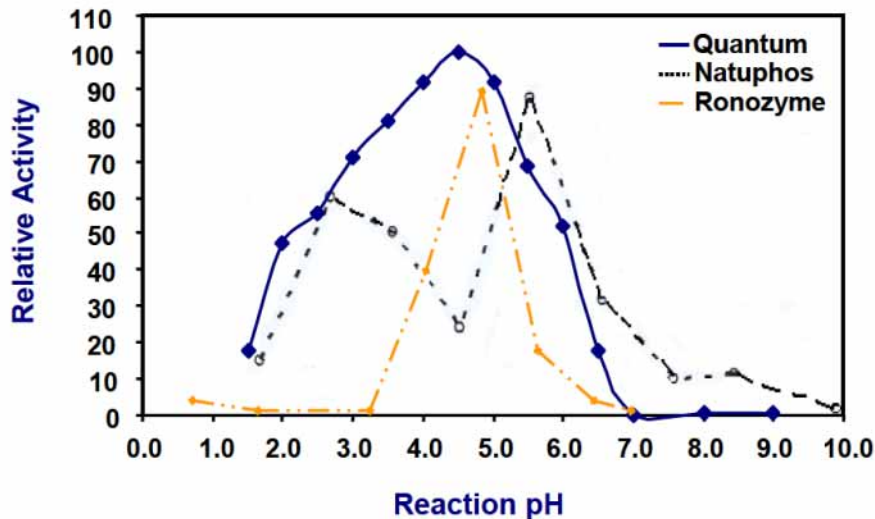


Figure 11: pH optimal de 3 phytases ; Ronozyme®, Natuphos®, Quantum™

Source : **BEUTLER (2009)**.

2.3.2.1.1.2- 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. (1998a)** *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 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.

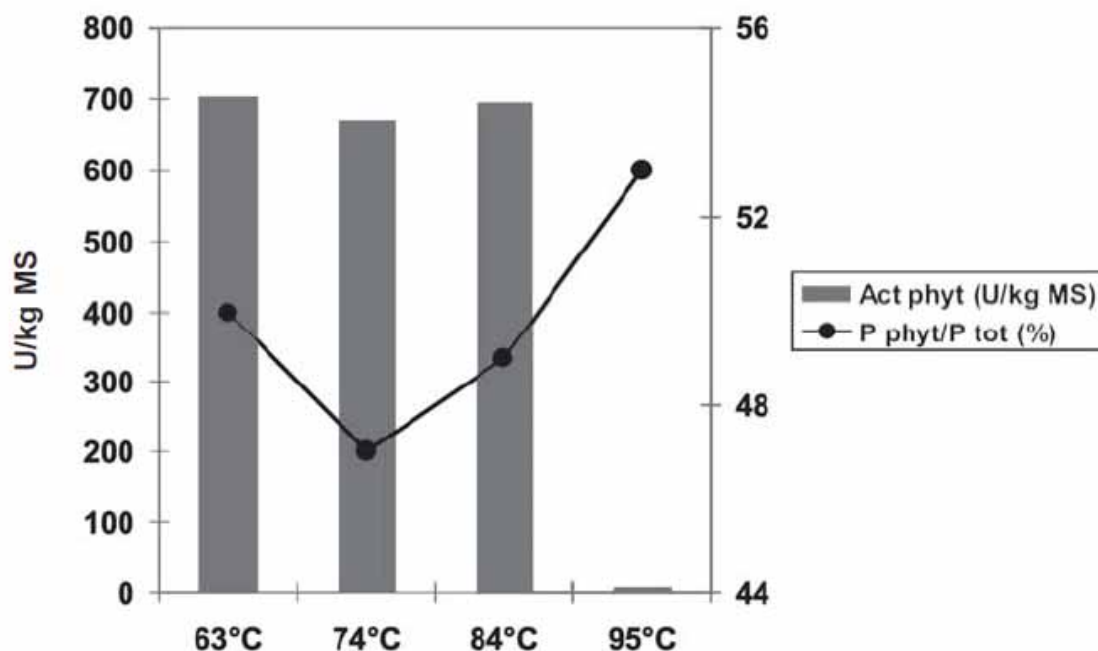


Figure 12. Effet de la température de granulation sur le ratio phosphore phytique / phosphore total (%) et l'activité phytasique du blé (g/kg MS)

Source : **TRAN et SKIBA (2005)**

2.3.3- AUTRES FACTEURS

2.3.3.1- 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**).

2.3.3.2- Combinaison des phytates

Le phytate de calcium est réputé le plus insoluble, donc plus stable et résistent 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. 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).

2.3.3.3- Teneur en phytate

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

2.3.3.4- 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.

2.3.3.5- 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.

Arvalis - 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.

2.4- CRITERES UTILISES DANS L'ETUDE DES EFFETS DES PHYTASES

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

2.4.1- CRITERES 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.

2.4.2- CRITERES BIOCHIMIQUES

Ce sont selon **PETRA et al. (2009b)** :

- 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 ou la phosphatémie (**SAUVEUR, 1989**).

2.5- COMPARAISON DE L'ACTIVITE DES PHYTASES VEGETALES ET DES PHYTASES FONGIQUES

La digestibilité chez le porc du phosphore phytique augmente de 20 p. 100 sous l'influence de 500 U/Kg de phytase fongique par rapport à 500 U/Kg de phytase de blé. Ce qui peut s'expliquer par le fait que les conditions de définition de l'Unité phytasique *in vitro* ne sont reproduites *in vivo* (**SAUVEUR, 1993**).

2.6- COMPARAISON DE L'ACTIVITE DES PHYTASES VEGETALES 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 De 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 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)*.

2.7- COMPARAISON DE L'ACTIVITE 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.

2.8- INFLUENCE DES PHYTASES SUR L'UTILISATION DIGESTIVE DES PROTEINES, DES MINERAUX ET DE L'ENERGIE METABOLISABLE

Le phosphore phytique renferme 6 fonctions phosphates (PO_4) et s'associe à divers cations constituant des sels de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Zn^{2+} 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.

2.8.1- PROTEINES ET MINERAUX

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, 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.

2.8.2- ENERGIE METABOLISABLE

Les recherches sur ce sujet ne sont pas très étendues.

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, **ZENDZA et al. (2006)**, 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.

2.9- INFLUENCE DES PHYTASES FONGIQUES ET MICROBIENNES SUR LES PERFORMANCES DE CROISSANCE

2.9.1- GAIN DE POIDS, CONSOMMATION ET EFFICACITE ALIMENTAIRE

PERNEY et al. (1993) trouvent qu'aux doses faibles, la phytase microbienne n'influence pas significativement la consommation alimentaire. Selon **COWIESON et al. (2006)**, la supplémentation d'une ration alimentaire contenant 3g/kg de P disponible avec une phytase exogène permet d'améliorer les performances des poussins (le gain de poids, l'utilisation des éléments nutritifs). **PIRGOZLIEV et al. (2008)**, ont montré que la supplémentation d'un régime alimentaire pour des poulets de chair (0-28 j) avec une phytase à une dose de 2500 FTU/kg d'aliment permet une amélioration de 2,4 p.100 de l'efficacité de conversion alimentaire par rapport à un régime contenant 500 FTU/ kg d'aliment de cette phytase. **PETRA et al. (2009b)**, ont évalué les effets de trois 6-phytases P1, P2 et P3 lors d'un essai de digestibilité de 22 jours chez le poulet de chair. Ils ont montré que le gain de poids, l'indice de consommation et l'utilisation totale apparente du phosphore ont été significativement améliorés par l'addition de phytase par rapport au témoin négatif.

L'ajout de phytase au régime carencé en phosphore et calcium a permis une amélioration significative de la croissance due à une augmentation de la rétention du phosphore et du calcium (**DEBICKI-GARNIER et al., 2009**). **MAGNIN et al. (2009)**, en étudiant les effets de deux phytases une 3- phytase produite par *Aspergillus niger*, et une 6-phytase produite par *Escherichia coli* chez la dinde (0- 8 semaines) ont montré que le traitement recevant la 3-phytase a présenté une consommation d'aliments et une croissance légèrement plus élevées. D'après **SOUTHERN (2010)**, l'ajout de l'OPTIPHOS à la dose de 500 FTU dans la ration des poussins nourris de 1

à 21 jours augmente le GMQ et la consommation alimentaire journalière ; en somme cet ajout entraîne une amélioration de la croissance mais une diminution de la mortalité lorsque l'aliment contient un niveau élevé de Ca et des niveaux faibles de PNP (**figure 13 et 14**).

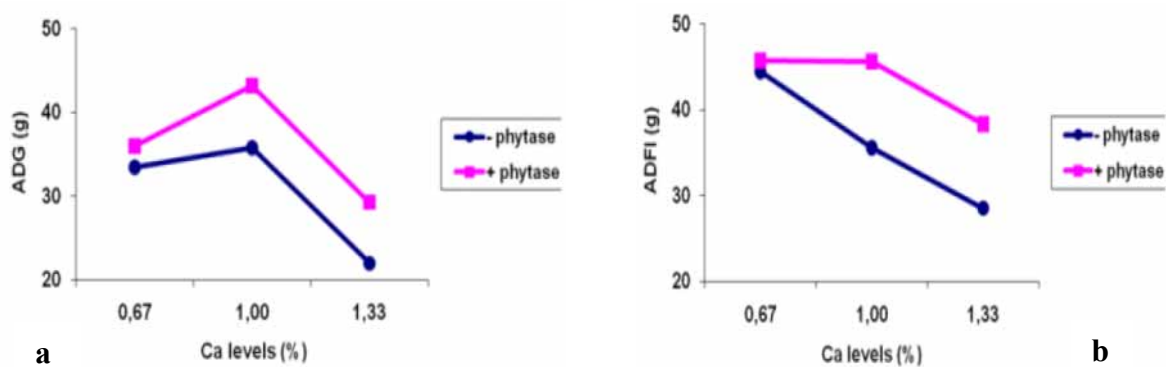


Figure 13 : Effets de l'interaction du niveau de Ca et de la phytase sur le GMQ (a) et la CJM (b) des poussins de 1 à 21 jours à des niveaux faibles de PNP

Source : **SOUTHERN (2010)**

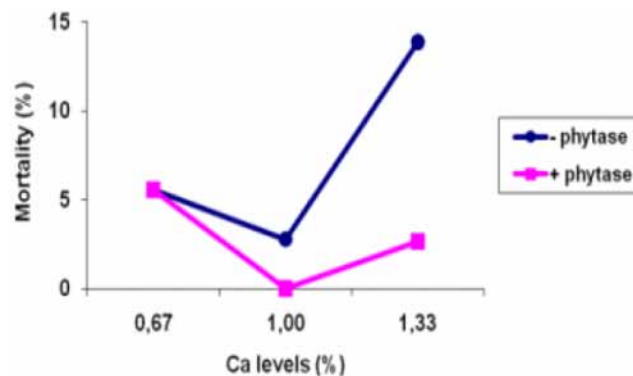


Figure 14 : Effet de l'interaction du niveau de calcium et la phytase sur la mortalité des poussins nourris de 1 à 21 jours

Source : **SOUTHERN (2010)**

2.9.2- MINERALISATION OSSEUSE ET DISPONIBILITE DU PHOSPHORE

WATSON et al. (2006) ont montré que chez des poussins de chair dont la ration est carencée en Ca (0,80 p.100) et en P (0, 25 p.100), l'ajout de différentes doses de phytase (1600 et 2600 UP/kg d'aliment) permet l'augmentation des cendres des orteils et du tibia par rapport aux poussins nourris au régime nutritionnel adéquat contenant 1% de Ca et 0,45% de P. Ces résultats avaient été aussi démontrés par **PAYNE et al.**

(2005). Ils ont montré une augmentation des cendres du tibia et des orverts chez les poulets nourris par un régime à base de maïs et de soja et supplémenté par du NATUPHOS ou du RONOZYME. **PILLAI et al. (2006)** ont observé une amélioration de la résistance, de la cendre, et du diamètre de la clavicule à l'ajout de phytase microbienne dans la ration. Selon **PETRA et al. (2009a)** l'addition de doses croissantes de phytase microbienne dans l'aliment des poules pondeuses, a permis d'améliorer significativement l'utilisation iléale apparente du P (**figure 15**). Dans un autre essai chez les poulets de chair, ils ont aussi montré que l'addition de 500 UP ou 1500UP d'une phytase dans la ration, augmente significativement le pourcentage des cendres qui est un bon indicateur de minéralisation de l'os mais également la résistance osseuse. La réponse est d'autant plus élevée aux doses plus élevées (**PETRA et al., 2009b**). Aussi, l'addition de 900 U/Kg de phytase permet une amélioration de 11,6 p.100 du pourcentage de cendres et de la résistance osseuse. Selon **SOUTHERN (2010)** l'ajout de la phytase augmente le poids de l'os, le poids et le pourcentage de cendre et la résistance osseuse des poussins de 1 à 21 jours (**figure 16**). **DEBECKI-GARNIER et al. (2009)** ont noté une amélioration de 8,68% du taux des cendres des orverts par rapport aux témoins aux doses de 250 et 500 FTU/kg.

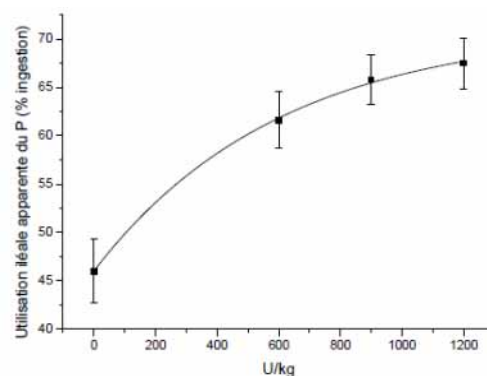


Figure 15 : Régression non linéaire de l'utilisation iléale apparente du P
Source : **PETRA et al. (2009)**

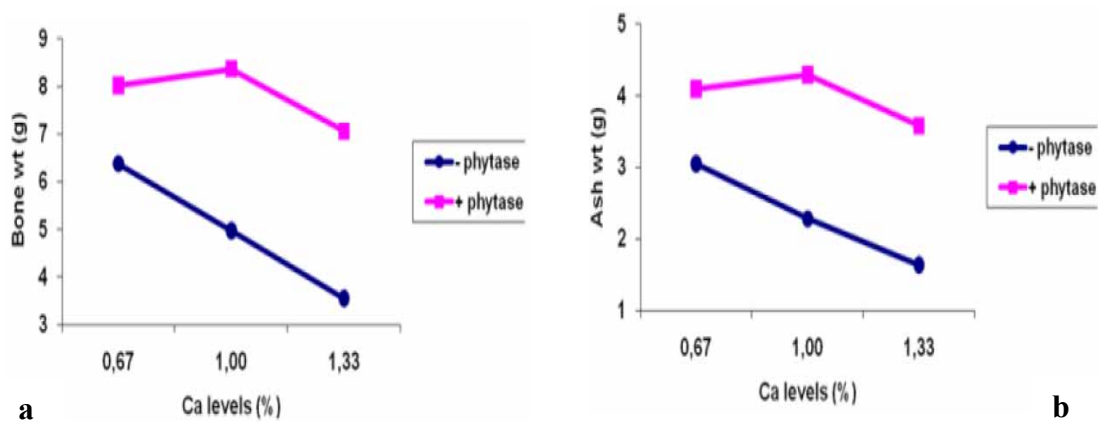


Figure 16 : Effet de l'interaction du niveau de Ca et la phytase sur le poids de l'os (a) et de la cendre (b) à des niveaux faibles de PNP

Source : **SOUTHERN (2010)**

2.9.3- PHOSPHATEMIE

PERNEY et al. (1993), ont réalisé des essais chez les poussins de 7 jours en mélangeant 500 U/kg de phytase fongique à des rations contenant respectivement 0,21 et 0,29 p.100 de phosphore disponible. Ils ont observé une augmentation du taux plasmatique du phosphore inorganique, lorsque le taux de phosphore disponible est de 0,29 p.100. **SHIRLEY et EDWARD (2003)**, ont observé une augmentation du phosphore plasmatique de 2,5 à 7,1 mg/100 ml quand on ajoute la phytase jusqu'à des doses supérieures aux recommandations de l'industrie chez des poussins chair de souche Cobb.

2.9.4- EFFETS CONJUGUES DE LA PHYTASE ET DE LA VITAMINE D₃

FONTAINE et al. (1985), ont montré que la supplémentation vitaminique D stimule très nettement l'absorption du phosphore et sa rétention même quand sa forme alimentaire est à 80p.100 phytique. Cet effet est cependant indépendant de la phytase et de la phosphatase alcaline de la muqueuse intestinale chez le porc. **ADEOLA et al. (1998)**, ont montré que la complémentation en phytase ou en cholécalférol d'un régime pauvre en Ca (3,5 g /kg) et en P (3,4 g /kg) donne lieu chez des porcs de 20 kg aux mêmes performances qu'un régime bien pourvu en ces deux aliments, soit respectivement 6 et 5,4 g /kg. Mais contrairement au porc, **EDWARD (1993)** a pu montrer que pour des niveaux faibles de calcium et de phosphore inorganique, l'addition de 10µg/kg de 1,25 dihydroxycholécalférol à une ration supplémentée en phytase fongique (600 U/Kg) entraîne une augmentation de la rétention du phosphore phytique de 81 à 87 p.100 contre 53 à 65 p.100 lorsqu'on n'ajoute pas de vitamine D₃ chez les poussins de 9 jours. **McGRATH et al. (2009)** ont confirmé que l'ajout de phytase et de 1,25-dihydroxycholécalférol à l'alimentation des poulets de chair est efficace pour réduire les concentrations totales de P dans la litière.

2.9.5- INFLUENCE DES NIVEAUX D'APPORT DES PHYTASES

Pour **SAUVEUR (1993)**, la dose requise pour une performance maximale est vraisemblablement plus proche de 1000 U/kg que de 500 U/kg.

Selon **POINTILLARD (1994)**, l'effet des taux de phytase entre 250 et 1500 U/kg d'aliment sur la rétention du phosphore végétal chez le poulet de chair est presque linéaire.

D'après **DEBICKI-GARNIER (2007)**, la phytase *A. niger* montre une augmentation du taux de cendres beaucoup plus lente, et atteint à 1000 FTU/kg un taux de cendres équivalent à celui obtenu avec *Schizosaccharomyces pombe* à 250 FTU/kg.

A présent, les phytases sont incluses à raison de 500 Unités/kg au minimum dans la majorité des régimes destinés aux porcs et aux volailles (**BECKERS et PIRON, 2009**).

Dans le cas de la formulation d'un aliment granulé, les phytases exogènes interviennent pour une activité comprise entre 500 et 910 UI/kg de mélange (moyenne = 706 UI/kg) et ainsi contribuent pour près de la moitié à la couverture du besoin en P digestible (de 30 à 60 p.100, moyenne = 45 p.100). Dans le cas d'un aliment en farine, l'activité phytasique des matières premières limite sensiblement le recours aux phytases exogènes, les deux types de phytases contribuant pour des niveaux sensiblement équivalents à l'activité phytasique globale du mélange (respectivement 270-820 et 270- 700 UI/kg) (**CHAPOUTOT et PRESSEDA, 2005**).

2.10- INTERET 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 palier l'absence chez l'animal d'enzyme capable d'hydrolyser des liaisons chimiques particulières ;
- Pour palier 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.

2.10.1- INTERET ECONOMIQUE

L'alimentation animale représente environ 70 p.100 du coût de production. Aujourd'hui, les nombreux essais réalisés montrent que l'addition des phytases dans l'alimentation des volailles et des porcs, 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 PRESSEDA (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. 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 17**) pour ajuster l'apport de phosphore bicalcique.

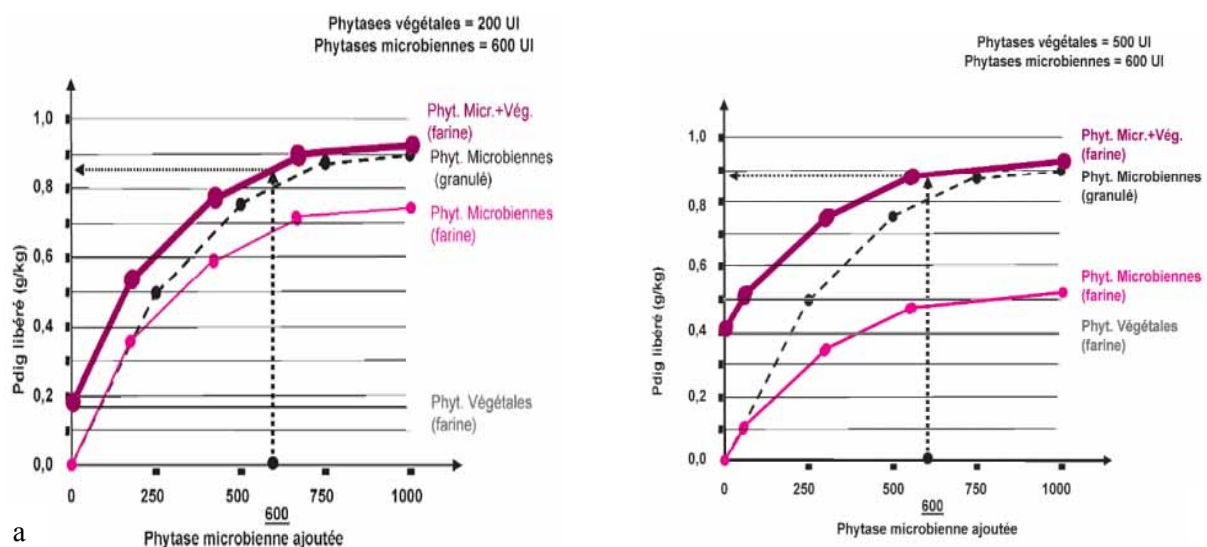


Figure 17 : Interaction entre phytases végétales et microbiennes
Source : **CHAPOUTOT et PRESSEDA (2005)**.

2.10.2- INTERET ECOLOGIQUE OU ENVIRONNEMENTAL

2.10.2.1- Lutte contre la pollution par les phosphates

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 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 18 présente le cycle du phosphore dans le sol avec les différentes sources selon SUTTON et al. (2004).

Dans le numéro 14 de la lettre d'informations sur les productions animales : *les actualités nutraliance* parue en mai 2007, l'ajout de phytase aura pour avantage direct d'améliorer la digestibilité du phosphore végétal et de baisser par conséquent les apports de phosphore minéral. La réduction des rejets en phosphore dans l'environnement est supérieure à 30 p.100. Claude Aubert, le spécialiste environnement de l'ITAVI (Institut Technique de l'Aviculture), dans « *réussir en aviculture* » parue le 17 février 2006 a fait des calculs et est parvenu la conclusion suivante : en Bretagne les rejets globaux de phosphore des déjections avicoles ont diminué de 27 p.100 en 2004 par rapport à 2000 et de 16 p.100 par rapport à 1988 à cause de l'utilisation des phytases dans l'alimentation. L'autre action qu'on pourrait mener pour lutter contre cette pollution serait de réduire de façon significative les rejets de phosphore par les animaux en ajustant au mieux les apports de P à leurs besoins et en améliorant l'efficacité de ceux-ci.

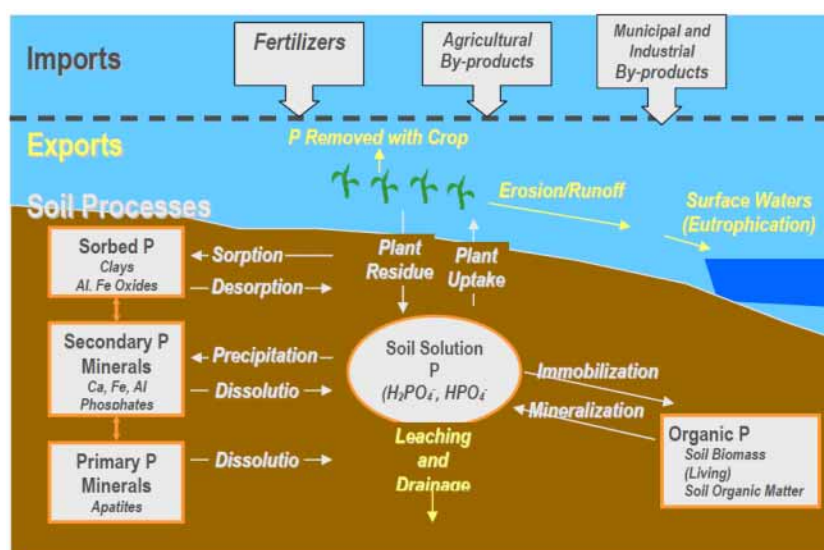


Figure 18 : Cycle du phosphore dans le sol

Source : SUTTON et al. (2004)

2.10.2.2- Diminution de la teneur en cadmium des denrées d'origine animale

RIMBACH et WALZ (1996) ont montré dans un autre essai que contrairement aux rats, l'ajout de phytase dans la ration des porcs, diminue considérablement la concentration de cadmium dans le rein et dans le foie à des valeurs inférieures aux valeurs maximales autorisées.

Évaluant l'effet de l'augmentation des niveaux de phytase microbienne alimentaire sur la biodisponibilité du zinc et de l'accumulation du cadmium et du plomb chez le rat en croissance, **RIMBACH et al. (1998)**, ont montré qu'en supplémentant le régime avec des teneurs de 0, 250, 500, 1000, 2000 U phytase de *A. niger*, les concentrations de cadmium dans le foie et dans les reins, ne varient pas de manière significative en réponse aux traitements.

2.10.3- INTERET PHYSIOLOGIQUE

L'acide phytique peut fixer de nombreux minéraux comme le P, Ca, Mg, Zn, Cu, Fe, Co, et Cr mais aussi des acides aminés et des protéines pour former des complexes ou phytates. L'hydrolyse des phytates par les phytases fongiques ou microbiennes libère les minéraux, les acides aminés et les protéines. Il s'ensuit une disponibilité de ces éléments, le phosphore en particulier assurant la couverture des besoins des animaux en ces nutriments.

De cette synthèse bibliographique, il ressort que la supplémentation des régimes par des phytases fongiques ou microbiennes chez les poulets de chair a commencé à partir de 1990. Dès lors, de nombreux travaux sur l'utilisation des phytases et leurs effets sont réalisés. L'addition des phytases microbiennes dans un aliment déficient en P, se traduit par une amélioration des performances de croissance liées à une augmentation significative du pourcentage de cendres aussi bien qu'à une réduction de l'excrétion phosphorée. Les phytases, utilisées comme additif alimentaire, permettent non seulement, de réduire l'addition de minéraux supplémentaires dans la ration du poulet de chair en augmentant la disponibilité des minéraux liés aux molécules d'acide phytique, mais aussi de minimiser la quantité de P excrétée, réduisant leur effet néfaste sur l'environnement.

Aujourd'hui en Europe, en Amérique et dans certaines grandes métropoles de l'Asie et de l'Afrique du Nord, les phytases sont utilisées mais elles restent méconnues en

Afrique au sud du Sahara. Pour bénéficier des impacts économiques et environnementaux de l'utilisation des phytases dans l'alimentation avicole et porcine, des essais doivent être réalisés pour la valorisation de leurs effets dans nos conditions.

DEUXIEME PARTIE: PARTIE EXPERIMENTALE

CHAPITRE I : MATERIEL ET METHODES

CHAPITRE II : RESULTATS ET DISCUSSION

CHAPITRE I : MATERIEL ET METHODES

1.1. LIEU ET PERIODE D'ETUDE

Notre essai s'est déroulé à l'Ecole Inter-Etats des Sciences et Médecine Vétérinaires de Dakar (E.I.S.M.V). Il a été réalisé sur la période allant du 18 novembre au 30 décembre 2009. Le bâtiment ayant servi à l'élevage est de type semi-ouvert et couvert de feuille de fibrociment.

1.2. MATERIEL

1.2.1- CHEPTEL EXPERIMENTAL

D'un effectif de cinq cents (500) poussins au départ, l'essai a finalement porté sur quatre cent quatre-vingt quinze (495) poussins chair non sexés, de souche Cobb 500. Le poids moyen des poussins au premier jour était d'environ 43,242 g. Les poussins nous ont été livrés par la SEEMAAP Industries.

1.2.2- MATERIEL D'ELEVAGE

Le matériel est constitué des éléments suivants :

- Mangeoires, abreuvoirs, seaux, radiants, ampoules, litière, gardes ;
- Panneaux grillagés ;
- Thermohygromètre ;
- Balance de précision de 1 à 3000 g ;
- Bagues d'identification ;
- Matériel de nettoyage et de désinfection ;
- Médicaments et matériel vétérinaire.

1.2.3- ALIMENTATION ET COMPOSITION DE LA RATION

Les oiseaux ont reçu trois aliments successifs pour les périodes de 1-21 jours (démarrage), 22-30 jours (croissance) et 31-42 jours (finition). Les poulets ont été nourris 6 jours avant le début de l'essai avec un aliment pré démarrage en farine composé et fabriqué par « AVISEN». Du 7^{ème} au 21^{ème} jour, les poulets ont reçu trois rations expérimentales, L1, L2 et L3 à base de maïs, formulées et fabriquées au service de Zootechnie-Alimentation de l'EISMV. Le broyage des matières premières a été fait

par la société « AVISEN ». Afin d'induire un état de carence en P et en Ca, l'aliment L2 formulé de manière à contenir 0,5 p.100 de phosphore total et 0,62 p.100 de calcium par kg d'aliment est supplémenté par du NATUPHOS® (500000 FTU/kg) à un taux d'incorporation de 0,1 p.100. L'aliment L3 avait les mêmes niveaux de phosphore et de calcium que l'aliment L2, mais la supplémentation a été réalisée avec la PHYSIN® (250000 FTU/kg) à un taux d'incorporation de 0,2 p.100. L'aliment L1, qui est notre aliment témoin, ne contient pas d'enzyme. Les niveaux de phosphore et de calcium sont, respectivement, de 0,6 p.100 et 1,05 p.100 et sont susceptibles, de couvrir les besoins des animaux. La composition de ses rations figure dans le **tableau XVI** ci-dessous. En phase de croissance et de finition, les poulets ont été nourris à l'aliment fabriqué par la société « NMA ».

Tableau XVI : Composition de la ration en %.

Matières premières	Rations 1(R1)	Ration 2 (R2)	Ration 3 (R3)
	Démarrage	Démarrage	Démarrage
Maïs	59,8	60,9	60,85
Son de blé	1,51	1,51	1,51
Tourteau d'arachide	30,32	30,32	30,27
Farine de poisson	5	5	5
Lysine de synthèse	0,53	0,5	0,53
Méthionine de synthèse	0,11	0,14	0,11
Coquille d'huître	1,9	0,7	0,7
Phosphate bi chélate	0,23	0,23	0,23
CMV	0,2	0,2	0,2
Liptol	0,2	0,2	0,2
Fintox	0,2	0,2	0,2
Natuphos	0	0,1	0
Physin	0	0	0,2

R1 : Ration non supplémentée en phytase (% Ca = 1,05 ; % P= 0,6).

R2 : Ration supplémentée en Natuphos[®] (% Ca= 0,62 ; % P= 0,5).

R3 : Ration supplémentée en Physin[®] (% Ca= 0,62 ; % P= 0,5).

Le NATUPHOS[®] (**figure 19**) utilisé, est une 3-phytase et a une activité phytasique de 500000 FTU/kg. Il a comme support, le carbonate de calcium et est incorporée à 0,1p.100 dans les aliments pour poulets en engraissement, dindes en engraissement, pondeuses, canards, porcelets, porc en engraissement. Il a une stabilité maximale de granulation de 80 p.100 et est extrait d'un champignon : *Aspergillus niger*.

La PHYSIN[®] (**figure 20**) est quant à elle, une 6-phytase avec une activité phytasique de 250000 FTU/kg. Elle a comme support, le carbonate de calcium et le remoulage de blé. Incorporée à 0,2 p.100 dans les aliments, on l'utilise chez les poulets, les dindes, les canards et pondeuses. Sa stabilité maximale de granulation est de 80 p.100.



Figure 19 : Natuphos[®]



Figure 20 : Physin[®]

Source : Auteur

1.2.4- MATERIEL DE LABORATOIRE

- Une spatule ;
- Un mortier et un pilon ;
- Des creusets en verre de porcelaine ;
- Une balance d'analyse, précision 0,1 mg ;
- Un congélateur pour la conservation des pattes de poulet ;
- Un Dessiccateur contenant un déshydratant (silicagel)
- L'étuve isotherme pouvant être réglée à 103°C ± 1°C ;
- Le four à moufle avec thermostat pouvant être réglé à 550°C ± 5°C

1.3- METHODES

1.3.1- CONDUITE DE L'ELEVAGE

1.3.1.1- Préparation du bâtiment

Deux semaines avant l'arrivée des poussins, nous avons procédé au vide sanitaire. En effet, il consiste à sortir tout le matériel d'élevage du bâtiment, à tremper la salle et le matériel afin de faciliter le décapage. Le bâtiment et tout le matériel ont été lavés à l'eau savonneuse et rincés à l'eau additionnée d'eau de javel (250ml/10 l). Le matériel a par la suite été remis dans le bâtiment et un pédiluve a été placé à la porte. Une semaine avant l'arrivée des poussins, les gardes ont été mises en place, les fenêtres fermées et a été effectué une deuxième désinfection avec le VIRUNET® (bâtiment et le matériel). A trois jours de l'arrivée des poussins, la salle a été désinfectée à nouveau avec de la chaux vive. La veille de la réception, la partie réservée au démarrage a été délimitée par les gardes et recouverte de copeaux de bois. Le thermohygromètre a été installé. Le radiant installé à environ 1,10 m du sol avec un angle d'inclinaison voisin à 45°C, a permis de chauffer l'aire de démarrage à une température sous radiant d'environ 33°C. Trois (3) heures avant le démarrage, les abreuvoirs ont été placés dans la poussinière.

1.3.1.2- Arrivée des poussins

Les poussins d'1 jour ont été livrés par la société SEEMAAP. Ils ont été vaccinés contre la maladie de Newcastle dans une clinique vétérinaire à Keur Massar. Transportés dans des cartons par une voiture jusqu'à l'EISMV, les poussins (**figure 21**) ont subi un contrôle pour s'assurer de leur qualité. Au nombre de ces contrôles, nous pouvons citer : le nombre de poussin livré, le poids moyen, l'état de la cicatrisation de l'ombilic, l'état des pattes et du bec, la vivacité des poussins. Après ces contrôles qui, avaient pour but d'identifier et d'éliminer les sujets faibles, les poussins ont été installés dans la poussinière (**figure 22**) car la mise en lot s'est faite le 6^{ème} jour d'âge. Après 2 heures d'abreuvement, les mangeoires ont été installées aussi dans la poussinière.



Figure 21 : Poussins à l'arrivée

Figure 22 : Poussins dans la poussinière

Source : Auteur

1.3.1.3- Préparation des lots

Au 7^{ème} jour d'âge, les poussins ont été répartis en trois lots (L1, L2, L3) de manière à avoir des poids équilibrés entre les différents lots. L1 (164 sujets) est le lot qui a reçu la ration non supplémentée en phytase (lot témoin), le lot L2 (166 sujets) a reçu une ration supplémentée en phytase le NATUPHOS alors que le lot L3 (165 sujets) a été nourri avec un régime supplémenté par la PHYSIN. Chaque lot a été subdivisé en quatre (4) sous-lots de 41 ou 42 sujets (**figure 23**). La densité au **Source : Auteur** 40 poussins/m² et celle de fin de cycle, de 10 poulets/m². A J21, les poulets ont été identifiés à l'aide de bagues fixées sur la membrane alaire (**figure 24**).



Figure 23 : Répartition des poulets dans les sous lots

Source : Auteur



Figure 24 : Volaille baguée

Source : Auteur

1.3.1.4- Programme de prophylaxie

Après l'installation des poussins, ils ont été soumis à un plan de prophylaxie (**tableau XVII**).

Tableau XVII : Plan de prophylaxie médicale

Age (j) et date	Opérations	Produits utilisés
1 18/11/2009	Vaccination contre la maladie de Newcastle	Imopest [®] (IM) HB1 [®] (trempage de bec)
1, 2,3 et 4 18/11/2009 au 21/11/2009	Prévention des réactions post-vaccinales et du stress	Néoxyvital [®]
7 24/11/2009	Vaccination contre la Gumboro	HipraGumboro [®]
8, 9, 10 25/11/2009 au 27/11/2009	Prévention des réactions post-vaccinales et du stress	Néoxyvital [®]
15 02/12/2009	Rappel vaccin contre la maladie de Gumboro	HipraGumboro [®]
16, 17, 18 03/12/2009 au 05/12/2009	Prévention des réactions post-vaccinales et du stress	Lutricyline [®]
21 08/12/2009	Rappel vaccin contre la maladie de Newcastle	CEVAC NEW L [®]
22, 23, 24 09/12/2009 au 11/12/2009	Prévention des réactions post-vaccinales et du stress	Super layer [®]
25, 26, 27, 28 12/12/2009 au 15/12/2009	Prévention de la coccidiose	Anticox [®]
29 30 31 32 16/12/2009 au 19/12/2009	Vitaminothérapie	Amin total [®]

1.3.1.5- Programme alimentaire et abreuvement

Pendant toute la durée de l'essai, les oiseaux ont reçu l'aliment et l'eau d'abreuvement *ad libitum*. Sans les rationner, les poulets ont été habitués à vider les mangeoires, pour stimuler la consommation, tout en mettant à la disposition, de l'aliment frais plus appétant. Du démarrage à la finition, l'aliment a été renouvelé 3 à 4 fois par jour. Les

sujets ont reçu l'aliment AVISEN et les rations expérimentales au démarrage, et l'aliment NMA à la croissance et à la finition. Le programme alimentaire est présenté dans le **tableau XVIII**.

Tableau XVIII : Programme alimentaire et la présentation des aliments

Phase d'élevage		LOTS		
		L1	L2	L3
Démarrage	1-6 j	Aliment pré démarrage « AVISEN » en farine	Aliment pré démarrage « AVISEN » en farine	Aliment pré démarrage « AVISEN » en farine
	7-21 j	Aliment démarrage expérimental en farine	Aliment démarrage expérimental en farine	Aliment démarrage expérimental en farine
Croissance 22-30 j		Aliment croissance « NMA » granulé	Aliment croissance « NMA » granulé	Aliment croissance « NMA » granulé
Finition 31-42 j		Aliment finition « NMA » granulé	Aliment finition « NMA » granulé	Aliment finition « NMA » granulé

L1 : lot d'animaux ayant reçu la ration 1 non supplémentée en phytase (témoin).

L2 : lot d'animaux ayant reçu la ration 2 supplémentée par le Natuphos[®].

L3 : lot d'animaux ayant reçu la ration 3 supplémentée par la Physin[®].

Transition alimentaire

Le passage d'un aliment à un autre nécessite une transition qui dure 3 jours (le 1^{er} jour : $\frac{3}{4}$ de l'ancien et $\frac{1}{4}$ du nouveau ; le 2^{ème} jour : $\frac{1}{2}$ de l'ancien et $\frac{1}{2}$ du nouveau ; le 3^{ème} jour : $\frac{1}{4}$ de l'ancien et $\frac{3}{4}$ du nouveau).

Les constituants des aliments expérimentaux (**tableau XIX**) ont été calculés sur la base des tables de composition des matières premières entrant dans la fabrication de ces aliments.

Tableau XIX : Constituants des aliments expérimentaux

Constituants	Démarrage		
	Témoin	Natuphos [®]	Physin [®]
Energie (kcal/kg)	3054,267	3090,891	3087,5045
Protéine (%)	24,23772	24,33005	24,3132
Lysine (%)	1,449169	1,422549	1,451309

Méthionine (%)	0,603503	0,635293	0,605043
Calcium (%)	1,086108	0,630218	0,630148
Phosphore (%)	0,59538	0,51764	0,51721
Rapport Ca/P	1,824	1,217	1,218

1.3.1.6- Eclairage du bâtiment

Les animaux ont été éclairés tout le temps de l'élevage (jour et nuit). L'éclairage diurne s'est fait par la lumière naturelle. Dans la nuit, les poulets ont été éclairés par de petites ampoules jaunes de 60 watts réparties de façon homogène dans le bâtiment.

1.3.2- PARAMETRES ETUDIÉS

1.3.2.1- Etat sanitaire

Les troubles sanitaires observés ont été enregistrés. Les anomalies liées aux paralysies étaient celles qui nous intéressaient.

1.3.2.2- Paramètres zootechniques

1.3.2.2.1- Consommation alimentaire et paramètres d'ambiance

Quotidiennement, la consommation alimentaire journalière des poulets a été enregistrée, grâce à la pesée des quantités d'aliments distribuées et refusées, sur des fiches de consommation alimentaire (**annexe I**). Les paramètres d'ambiance (température et hygrométrie) ont été également relevés et ont permis de déterminer les valeurs minimales et maximales.

1.3.2.2.2- Poids vif des animaux

Pendant les 42 jours d'élevage, trois pesées ont été effectuées. La première pesée s'est faite au 7^{ème} jour des poussins, ensuite le 21^{ème} jour et enfin le 42^{ème} jour d'élevage pour une dernière pesée. C'est à l'aide d'une balance électronique de précision que les pesées ont été faites. Les données recueillies ont été enregistrées sur une fiche de pesée (**annexe II**).

1.3.2.2.3- Mortalité

Tous les cas de mortalités, ont été enregistrés sur une fiche de mortalité (**annexe III**) et les autopsies réalisées pour en déterminer les causes.

1.3.2.2.4- Poids de la carcasse

Au 42^{ème} jour d'âge, les animaux ont été abattus, plumés et éviscérés en partie : le gésier et le foie étant restés en place. Le poids carcasse de chaque poulet obtenu par pesée individuelle (la tête, le foie, le gésier, les pattes y compris) a été enregistré sur une fiche d'abattage (**annexe IV**). La patte droite de 11 sujets par traitement a été prélevée et pesée.

1.3.2.2.5- Détermination des variables zootechniques

Ces calculs ont été rendus possibles grâce aux données collectées tout le long de la conduite de l'élevage.

1.3.2.2.5.1- Consommation alimentaire individuelle

La consommation alimentaire individuelle permet d'évaluer les quantités d'aliments consommés 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 :

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

1.3.2.2.5.2- Gain moyen quotidien (GMQ)

L'évolution pondérale des oiseaux a été suivie par des pesées périodiques. Les mesures de poids ont permis de calculer le Gain Moyen Quotidien. Il se détermine par le rapport du gain moyen pondéral pendant une période sur la durée (en jours) de la période. Le GMQ se calcule par la formule ci-dessous.

$$\text{GMQ (g)} = \frac{\text{Gain de poids (g) pendant une période}}{\text{Durée de la période (j)}}$$

1.3.2.2.5.3- Indice de consommation (IC)

Il a été calculé en faisant le rapport de la quantité d'aliment consommée pendant une période sur le gain de poids pendant cette même période. Il est sans unité et la formule utilisée pour le déterminer est la suivante :

$$\text{IC} = \frac{\text{Quantité d'aliment consommée pendant une période (g)}}{\text{Gain de poids durant la même période}}$$

1.3.2.2.5.4- Rendement carcasse (RC)

Il est exprimé en pourcentage (%) et correspond au rapport du poids carcasse sur le poids vif à l'abattage. Il s'exprime par la formule suivante :

$$\text{RC} = \frac{\text{Poids carcasse (g)}}{\text{Poids vif à l'abattage}} \times 100$$

1.3.2.2.5.5- Taux de mortalité (TM)

Le taux de mortalité est le rapport du nombre de morts enregistrés pendant la période de l'élevage sur l'effectif total. Il s'exprime en pourcentage (%).

$$\text{TM} = \frac{\text{Nombre de morts durant une période}}{\text{Population en début de période}} \times 100$$

1.3.2.2.6- Analyses de laboratoire

1.3.2.2.6.1- Matière sèche

La matière sèche est la partie de la matière (aliment, carcasse, fientes etc ...) ne contenant pas d'eau. Pour sa détermination, les pattes ont été pesées (**figure 25**), pilées et séchées à l'air puis mises dans un creuset de poids, préalablement déterminé. Les creusets ont été mis à l'étuve 103°C ± 1°C pendant 6 heures maximum. Par la suite,

les creusets ont été sortis de l'étuve et rapidement placés dans un dessiccateur sous vide. Ils ont été refroidis 1 heure environ puis pesés à 0,1 mg près avec une balance électronique. Cette procédure est une adaptation de la norme « AFNOR (1977) V 18-109. La teneur en matière sèche est donnée par la formule suivante :

Teneur en Matière Sèche= 100 - Humidité (%)

$$(P_1 - P_2) \times 100$$

Teneur en humidité (%) = -----

$$(P_1 - P_0)$$

P_0 : Poids du creuset vide

P_1 : Poids du creuset vide + patte avant étuve

P_2 : Poids du creuset vide + patte après étuve



Figure 25 : Pesée d'une patte

Source : Auteur

1.3.2.2.6.2- Teneur en cendres brutes

Il s'agit de déterminer la teneur en minéraux des os des pattes. Les cendres brutes étant les résidus des pattes obtenues après incinération, elles contiennent essentiellement les éléments minéraux, le phosphore et le calcium. Après la détermination de la matière sèche, les pattes ont été incinérées pendant 8 heures à 550°C, après refroidies à 150-200°C. Les creusets ont par la suite été placés dans le dessiccateur pour le refroidissement sous vide pendant 1 heure environ. Ils ont à nouveau été pesés pour avoir le poids des creusets et des cendres. La procédure décrite est une adaptation de la norme « AFNOR (1977) V18-101 ». La teneur en matières minérales est donnée par la formule suivante :

$$\text{Teneur en matière minérales (\%)} = \frac{(P_2 - P_0) \times 100}{P_3}$$

$$P_3 = (P_1 - P_0) \times \% \text{ MS}$$

P_0 = Poids du creuset vide

P_1 = Poids du creuset + pattes avant incinération

P_2 = Poids du creuset vide + aliment après incinération

P_3 = Poids de la matière sèche

1.3.2.3- Analyse statistique

Les données collectées ainsi que les variables calculées ont fait l'objet d'un traitement statistique à l'aide du logiciel SPSS (Statistical Package for the Social Science) par le biais d'une analyse de variance (ANOVA).

Chapitre II : RESULTATS ET DISCUSSION

2.1- RESULTATS

2.1.1- PARAMETRES D'AMBIANCE

Les températures moyennes ont été relevées pendant toute la période de l'essai. Elles ont varié entre 22,93 °C et 32,26 °C. L'hygrométrie a quant à elle varié entre 24,96 % et 49,33 % (**tableau XX**).

Tableau XX : Variation de la température et de l'hygrométrie pendant l'essai

Périodes d'élevage	Températures °C		Hygrométries (%)	
	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
Démarrage	26,03	32,26	28,88	49,33
Croissance	24,43	30,21	25,10	46,24
Finition	22,93	28,95	24,96	45,17

2.1.2- PERFORMANCES ZOOTECHNIQUES

2.1.2.1- Poids vif

Au début de notre expérimentation à J7, le poids moyen des volailles de chaque lot était de $99,78 \pm 1,95$ g.

A la troisième semaine, l'incorporation du Natuphos[®] et de la Physin[®] n'a permis d'améliorer le poids vif des animaux. Le poids moyen des poulets du lot témoin (L1) est de $502,65 \pm 87,32$ g alors que ceux des lots nourris au Natuphos[®] (L2) et à la Physin[®] (L3) sont, respectivement, de $465,69 \pm 82,17$ g et de $464,71 \pm 82,07$ g. Il y'a une différence significative ($p < 0,001$) de poids entre les différents lots, notamment entre les lots L1 et L2, L3. Les poids sont de 7,35% (L2) et de 7,5 (L3) plus faible que

dans le lot L1. Cependant, entre les lots L2 et L3, il n'existe pas de différence significative de poids.

A la sixième semaine, l'ajout de phytase quelque soit le taux d'incorporation n'a pas permis d'améliorer le poids. Le résultat obtenu à l'abattage (**tableau XXI**) montre que la différence significative ($p < 0,05$) entre les lots L1 et L2, L3 demeure, même si la diminution de poids dans les lots L2 et L3 par rapport à L1 n'est plus que de 3,94% et de 2,67% respectivement. Il n'existe pas de différence significative entre les lots L2 et L3.

Tableau XXI : Effet de la supplémentation de la ration en phytase sur le poids vif des poulets

Poids (g)	LOTS			Signification
	Témoin	Natuphos [®]	Physin [®]	
7 ^{ème} jour	99,78 ± 1,95 a	99,78 ± 1,95 a	99,78 ± 1,95 a	ns
21 ^{ème} jour	502,65 ± 87,32 a	465,69 ± 82,17 b	464,71 ± 82,07 b	***
42 ^{ème} jour	2171,89 ± 306,87 a	2086,22 ± 286,66 b	2113,83 ± 243,06 b	*

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

2.1.2.2- Gain moyen quotidien

L'ajout de Natuphos[®] et de Physin[®] n'a pas permis d'améliorer significativement le GMQ. A la troisième semaine, nous observons une différence significative ($p < 0,001$) de GMQ des trois lots de 26,84 ± 5,81 g pour L1, de 24,42 ± 5,44 g pour L2 et de 24,31 ± 5,45 g pour L3. La baisse de la vitesse de croissance dans le lot L2 est de 9,01% comparé au lot 1, alors qu'entre les lots L2 et L3 des vitesses de croissance identiques ont été observées. Au 42^{ème} jour, les résultats (**tableau XXII**) montrent qu'il n'existe pas de différence significative entre tous les trois GMQ ($p > 0,05$). Les deux phytases ajoutées dans les rations n'ont pas permis d'améliorer le GMQ.

Tableau XXII : Effet de la supplémentation de la ration en phytase sur le GMQ

GMQ (g/j)	LOTS			Signification
	Témoin	Natuphos [®]	Physin [®]	
7J-21J	26,84 ± 5,81 a	24,42 ± 5,44 b	24,31 ± 5,45 b	***
21J-42J	79,47 ± 12,63 a	77,16 ± 11,24 a	78,50 ± 9,88 a	ns
GMQ moyen	53,15 ± 9,22 a	50,79 ± 8,34 b	51,40 ± 7,66 b	*

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

2.1.2.3- Poids carcasse et Rendement de carcasse

Le poids carcasse du lot témoin (L1) est significativement supérieur à celui des lots au Natuphos[®] (L2) et à la Physin[®] (L3) (p<0,05). La différence entre les poids carcasses des lots L2 et L3 reste non significative (p>0,05). Malgré la différence observée entre les poids carcasses des trois lots, les rendements carcasses sont presque identiques (**tableau XXIII**). En somme, le lot L1 présente le meilleur poids carcasse mais, avec un rendement carcasse plus faible que celui du L3 soit une supériorité de 0,19% de L3 par rapport à L1.

Tableau XXIII : Effet des phytases sur le poids et le rendement carcasse

	LOTS			Signification
	Témoin	Natuphos [®]	Physin [®]	
Poids carc(g)	1898,69 ± 275,3 a	1826,42 ± 257,1 b	1849,92 ± 219,7 b	*
Rmdt carc (%)	87,33 ± 2,29 a	87,16 ± 3,29 a	87,50 ± 3,12 a	ns

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

Poids carc : poids carcasse ;

Rdmt carc : rendement carcasse.

2.1.2.4- Consommation alimentaire et Indice de consommation

2.1.2.4.1- Consommation alimentaire individuelle

Les phytases n'ont pas permis d'augmenter de manière significative la consommation alimentaire. Tout le long de notre expérimentation, on a noté une consommation alimentaire élevée dans le lot 1 au démarrage et à la croissance. A la finition, c'est au niveau du lot 3 que nous observons une augmentation de la consommation (**tableau XXIV**). Sur ces périodes précitées, les lots présentent un niveau de consommation pratiquement identique. La différence de consommation alimentaire entre les lots n'est donc pas significative (p>0,05).

Tableau XXIV : Effet des phytases sur la consommation alimentaire individuelle

Consommation alimentaire individuelle (kg)	LOTS			Signification
	Témoin	Natuphos [®]	Physin [®]	
Démarrage	0,867	0,831	0,856	ns

Croissance	1,045	1,035	1,042	ns
Finition	2,038	1,980	2,055	ns
Total	3,950	3,846	3,953	ns

ns : non significatif $p > 0,05$

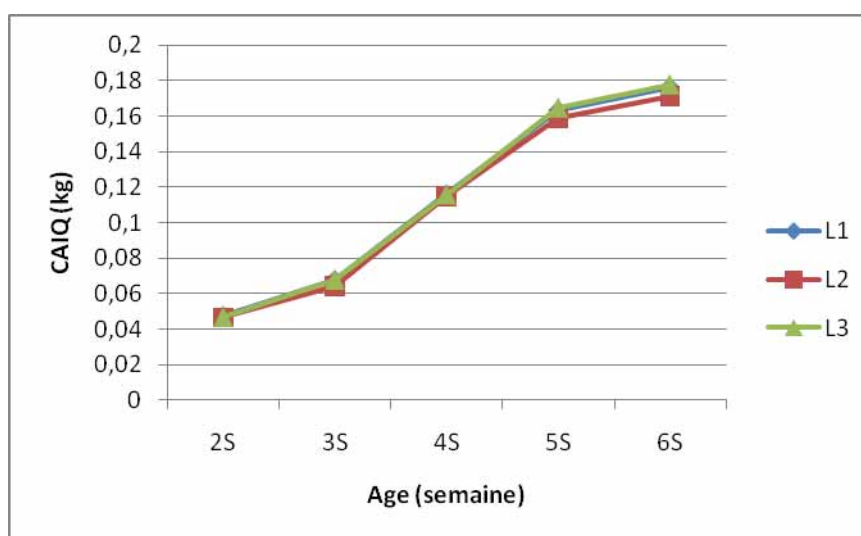


Figure 26 : Effet de la supplémentation du régime en phytase sur la consommation alimentaire individuelle quotidienne

2.1.2.4.2- Indice de consommation

Les observations décrites pour la consommation alimentaire en présence des phytases tendent s'appliquer à l'indice de consommation. Nous avons constaté que le lot L1 a mieux valorisé l'aliment que les lots 2 et 3, avec un indice de consommation de 2,15 au démarrage. Cet indice s'est amélioré considérablement (1,64) dans la dernière phase de l'élevage. Bien que, meilleur aux indices des lots L2 et L3 (**tableau XXV**), la différence n'est pas significative ($p > 0,05$) sur l'ensemble de l'essai. Il est aussi bon de remarquer qu'on observe pendant les phases de croissance et de finition, les meilleurs indices de consommation variant entre 1,64 et 1,67. Le lot 2 valorise mieux l'aliment que le lot 3. Les phytases n'ont permis d'améliorer l'indice de consommation.

Tableau XXV : Effet des phytases sur l'indice de consommation

Indice de consommation	LOTS			Signification
	Témoin	Natuphos [®]	Physin [®]	
7-21 ^{ème} jours	2,15 ± 0,062	2,24 ± 0,100	2,35 ± 0,130	ns
21-42 ^{ème} jours	1,64 ± 0,029	1,65 ± 0,071	1,67 ± 0,051	ns
Global	1,89 ± 0,091	1,94 ± 0,085	2,01 ± 0,090	ns

ns : non significatif $p > 0,05$

2.1.3- ANALYSES DE LABORATOIRE

2.1.3.1- Poids Matière Sèche et Teneur en Matière Sèche

Les poids de la matière sèche des pattes des lots témoin, nourri au Natuphos[®], et à la Physin[®] sont, respectivement, de 22,527 g, de 22,988 g et de 22,652 g. Le lot ayant reçu le Natuphos[®] présente le meilleur poids de matière sèche, ce qui représente une amélioration de 2,04% par rapport au lot témoin. Cependant, la différence entre le poids des matières sèches des différents lots n'est pas significative ($p > 0,05$). Contrairement à la matière sèche, la teneur en matière sèche des pattes du lot L1 est meilleure, bien qu'il n'y ait pas une différence significative ($p > 0,05$) entre les teneurs (**tableau XXVI**). Les pattes du lot nourri à la Physin[®] ont une meilleure teneur en matière sèche comparée au lot nourri au Natuphos[®]. Ceci correspond à une amélioration de 3,78% de L3 par rapport à L2.

Tableau XXVI : Effet des phytases sur la matière sèche et la teneur en matière sèche

	LOTS			Signification
	Témoin	Natuphos [®]	Physin [®]	
M.S (g)	22,527 ± 2,257	22,988 ± 1,521	22,652 ± 2,505	ns
pM.S (%)	34,625 ± 1,110	33,056 ± 4,356	34,307 ± 1,027	ns

ns : non significatif $p > 0,05$; *MS* : matière sèche ; *pMS* : teneur en matière sèche

2.1.3.2- Minéralisation osseuse

Après la minéralisation, nous avons constaté que le poids des cendres du lot 1 est le plus élevé par rapport aux lots 2 et 3 (**tableau XXVII**). Néanmoins, il n'y a pas de différence significative entre le poids des cendres des différents lots ($p > 0,05$). Aussi,

pouvons-nous ajouter que le poids des cendres du lot 3 est supérieur à celui du lot 2. Pour ce qui est de la teneur en matières minérales, le lot L3 a la valeur la plus élevée. Nous avons observé une amélioration minérale de 2,47 % des os de L3 par rapport à L1 et de 5,27 % par rapport à L2. Cependant, la différence entre les lots n'est pas significative ($p > 0,05$).

Tableau XXVII : Effet des phytases sur le poids de cendre et la teneur en matières minérales

	LOTS			Signification
	L1	L2	L3	
P. Cendre (g)	9,767 ± 1,126	9,306 ± 1,189	9,622 ± 0,929	ns
pM.M (%)	0,526 ± 0,043	0,512 ± 0,206	0,539 ± 0,028	ns

ns : non significatif $p > 0,05$

2.1.4- ETAT SANITAIRE DES POULETS

Tout le long de la conduite de notre bande de poulet de chair, aucune pathologie majeure n'est apparue dans notre poulailler. Nous avons seulement observé quatre (4) cas de paralysie (**figure 27**). Sur l'ensemble de ces cas, trois (3) provenait du lot L1 et un (1) du lot L3, soit une proportion de 75% des cas de paralysies observés proviennent du lot témoin. Nous n'avons pas observé de cas dans le lot 2.



Figure 27 : Poulet présentant une paralysie

Source : Auteur

2.1.5- MORTALITE

Du début de l'essai (J7) jusqu'à la fin de bande (J42), nous avons eu 6 cas de mortalité répartis entre les lots L1 et L3. Le plus grand nombre de mortalité a été enregistré dans le lot L3. Aucune mortalité n'a été enregistrée dans le lot L2 durant toute l'expérimentation. En phase de démarrage, aucune mortalité n'a été également observée. Il y a eu autant de mortalité en phase de croissance qu'en phase de finition dans ces lots (**tableau XXVIII**).

Tableau XXVIII : Effet des phytases sur le taux de mortalité

	LOTS			
	L1	L2	L3	Total
Effectif à J7	164	166	165	495
Effectif à J42	162	166	161	489
Nombre de sujets morts	2	0	4	6
▪ Démarrage	0	0	0	0
▪ Croissance	1	0	2	3
▪ Finition	1	0	2	3
Taux de mortalité (%)	1,21	0	2,42	1,21

Les cas de mortalité sont survenus de manière subite sans observation de symptômes. A l'autopsie, aucune lésion n'a été mise en évidence.

2.1.6- ETUDE ECONOMIQUE

Dans cette analyse, les coûts de l'aliment ont été comparés aux prix de vente du poulet (**tableau XXIX**) car les autres coûts liés à la production sont identiques dans les trois lots.

L'aliment supplémenté au Natuphos® (lot L2) est le moins couteux. Il permet d'avoir un gain de 32 F CFA par rapport au coût de l'aliment du lot L1. Son prix au kilogramme et celui du lot L3 sont les plus avantageux. Chaque traitement réalise une bonne marge bénéficiaire supérieure au prix de revient de l'aliment. Sur chaque poulet des lots L2 et L3 vendu, nous enregistrons des pertes respectives de 87 F CFA et de 76 F CFA.

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

Paramètres	Lots		
	L1	L2	L3
Consommation alimentaire (kg)			
• Démarrage	0,867	0,831	0,856
• Croissance	1,045	1,035	1,042
• Finition	2,038	1,980	2,055
Prix unitaire de l'aliment (F CFA)			
• Démarrage	224	216	216
• Croissance	256	256	256
• Finition	257	257	257
Coût de l'aliment (F CFA)	985	953	980
Poids carcasse moyen (kg)	1,898	1,826	1,849
Prix de vente par kg de poulet (F CFA)	1650	1650	1650
Prix du poulet (F CFA)	3132	3013	3051
Marge bénéficiaire Prix du poulet - prix de l'aliment (F CFA)	2147	2060	2071

2.2- DISCUSSION

2.2.1- METHODOLOGIE

Le mélange de l'aliment utilisé pendant le démarrage a été fait à la main. Ce mélange à la main ne permettrait pas d'obtenir une ration très homogène de façon à ce que, chaque animal ait dans sa consommation journalière, la quantité de phytase qu'il faut et les autres éléments nutritifs dont il a besoin. Ce facteur a dû influencer nos résultats.

L'insuffisance de moyens n'a pas permis de réaliser la résistance osseuse qui aurait donné plus de précision sur le taux de rétention du phosphore et du calcium et l'activité phytasique endogène des matières premières utilisées dans les rations.

2.2.1- PARAMETRES D'AMBIANCE

Les températures enregistrées au cours de notre essai sont un peu plus élevées que celles recommandées par (SANOFI, 1996) et (BORDAS et MINVIELLE, 1997), qui estiment qu'au delà de 27-28°C, les poulets réduisent leur consommation. Cette observation pourrait avoir eu des influences sur les performances de croissance.

Les chiffres concernant l'humidité relative de l'air d'un poulailler, recommandés par différents auteurs, varient énormément allant de 40% à 70%. Dans notre essai, l'hygrométrie est assez basse (24,96% à 49,33 %), la polypnée thermique est le mécanisme thermorégulateur que les poulets utilisent dans ces circonstances pour réguler la température. Cette faible humidité réduit les effets de la température.

2.2.2- EFFET DES PHYTASES SUR LA CROISSANCE

Les poulets du lot témoin ont obtenu les meilleures performances pondérales à l'abattage. Les baisses pondérales respectives de 3,94 % et de 2,67 % des poulets nourris au Natuphos® et à la Physin® par rapport au lot témoin ne corroborent pas les résultats obtenus par COWIESON et al. (2006), DEBICKI et al. (2007), PETRA et al. (2009b). Ces auteurs ont obtenu une augmentation du poids vif des sujets ayant reçu des rations supplémentées aux phytases par rapport aux témoins négatifs. Seulement, ils ont utilisé une ration à base de maïs et de soja. Ces résultats pourraient s'expliquer par la qualité homogène de l'aliment qui reste à vérifier. De plus, l'utilisation de l'aliment farine durant toute la phase du démarrage aurait tendance à réduire l'ingestion d'aliment, le dépôt de protéines et favoriserait le gaspillage. L'autre explication qu'on pourrait donner à ces observations est que, l'activité phytasique endogène est très variable même intra matière première (TRAN et SKIBA, 2005). Aussi, selon les recommandations INRA-AFZ de 2004, l'incorporation des phytases dans la ration tient compte de cette activité phytasique endogène. Alors, n'ayant pas

mesuré l'activité phytasique de nos matières premières, cela pourrait se répercuter sur les observations. Cependant, la nette supériorité pondérale bien que non significative des sujets du lot 3 par rapport au lot 2 est en accord avec les observations de **COWIESON et al. (2009)**, **BECKERS et PIRON (2009)** qui stipulent que les phytases d'origine bactérienne ont une activité phytasique supérieure aux phytases d'origine fongique.

Pour ce qui est du GMQ, nos résultats sont contraires à ceux de **SOUTHERN (2010)** qui a montré que l'ajout de phytase dans la ration augmente le GMQ. Il en est de même avec les observations de **PETRA et al. (2009b)**. Néanmoins, le lot 3 a un GMQ meilleur que celui du lot 2. Ceci pourrait attester que la phytase bactérienne a un effet meilleur que la phytase fongique.

2.2.3- EFFET DES PHYTASES SUR LES CARACTERISTIQUES DE LA CARCASSE

En corrélation avec le poids vif à l'abattage, nous constatons que le poids carcasse du lot témoin est toujours supérieur. Par contre, le rendement carcasse du lot 3 ayant reçu la ration supplémentée à la Physin[®] est le plus élevé. Le rendement carcasse dépend certes, du poids vif à l'abattage, du poids de la carcasse, mais aussi d'autres paramètres tels que le poids des viscères et les plumes. Une différence de poids entre ces deux derniers paramètres pourrait expliquer cet état de fait.

2.2.4- EFFET DES PHYTASES SUR LA CONSOMMATION ET L'EFFICACITE ALIMENTAIRE

Sur le plan de la consommation alimentaire, nous n'avons pas obtenu une différence significative entre les sujets traités aux phytases et les sujets témoins. Le même niveau de consommation alimentaire des différents lots s'expliquerait par le fait que, bien que nourris *ad libitum*, les lots recevaient les mêmes quantités d'aliments. Malgré la très nette supériorité de la consommation du lot 3, **PERNEY et al. (1993)** ont observé qu'aux doses faibles, les phytases microbiennes n'influencent pas significativement la consommation alimentaire. N'ayant pas la certitude de la quantité de phytase ingérée par les poulets, on pourrait cette faible consommation sur le compte d'une faible ingestion des enzymes. Mais contrairement à ces auteurs, **SOUTHERN (2010)** estime que la supplémentation de la phytase dans l'aliment augmente la consommation alimentaire journalière.

S'agissant de l'indice de consommation, les meilleurs résultats ont été obtenus pendant les phases croissance et finition. Ces IC sont globalement meilleurs que celui observé chez les poulets nourris aux aliments de commerce au Sénégal, qui est environ de 2,12 à 42 jours. La bonne valorisation de l'aliment par les sujets du lot témoin malgré les

résultats non significatifs, ne concorde pas avec les résultats de **PIRGOZLIEV et al. (2008)**. Selon ces auteurs, l'ajout de phytase dans la ration améliore l'indice de consommation. Les fortes valeurs observées pendant le démarrage seraient sûrement dues au gaspillage d'aliment, mais aussi à la réduction de l'injection liée à la forme farine de l'aliment utilisé.

2.2.5- EFFET DES PHYTASES SUR LA MINERALISATION OSSEUSE

L'addition des phytases dans les rations carencées en P et Ca des lots 2 et 3 a permis d'améliorer la minéralisation osseuse même si la différence n'est pas significative entre les lots. L'augmentation de 1,90 % de la minéralisation osseuse du lot 3 (Physin[®]) par rapport au lot témoin pourrait signifier une amélioration de la digestibilité du P. En effet, l'augmentation de la disponibilité du P et Ca par l'ajout de phytase s'est traduite par une légère augmentation du pourcentage des cendres osseuses qui est un bon indicateur de minéralisation. Nos observations sont en accord avec les résultats de **WATSON et al. (2006)**, **PILLAI et al. (2006)**, **SOURTHERN (2010)**. Tous ces auteurs ont montré que chez des poussins chair dont la ration est carencée en Ca et P, l'ajout de différentes doses de phytase permet l'augmentation des cendres osseuses. Mais cette amélioration par rapport au lot témoin est très inférieure devant celle obtenue par **DEBICKI-GARNIER et al. (2007)** qui était de 8,68 % par rapport au témoin aux doses de 250 et 500 FTU/kg.

2.2.6- EFFET DES PHYTASES SUR L'ETAT SANITAIRE DES POULETS

75% des cas de paralysie ont été observés dans le lot témoin qui n'a pas reçu de phytase. Ce résultat est en accord avec les nombreuses études réalisées qui ont montré que l'addition des phytases dans la ration favorise une amélioration de la minéralisation et par conséquent augmente la qualité de l'os. **PETRA et al. (2009b)** ont noté une amélioration significative de la résistance osseuse à l'ajout dans la ration de phytase. Le phosphore et le calcium étant les constituants majeurs de la trame minérale de l'os, les phytases dans la ration augmentent leur biodisponibilité.

2.2.7- EFFET DES PHYTASES SUR LA MORTALITE

Les mortalités ont été enregistrées pendant les phases de croissance et de finition. De plus, le taux de mortalité le plus élevé (2,42%) est observé dans le lot 3. Cette observation est contraire aux résultats de **SOURTHERN (2010)** qui a montré que l'incorporation de phytase dans une ration contenant 1% de Ca réduit considérablement (souvent 0%) le taux de mortalité. Dans notre cadre les rations contenaient 0,63% de calcium. L'absence de mortalité (0%) observée dans le lot 2 est en accord avec les résultats précédents. Les mortalités dans le lot 3 pourraient s'expliquer par des coups de chaleur. En effet, 3 sujets sur les 4 morts du lot 3

proviennent du même sous lot. Ce sous lot recevait des rayons solaires, surtout pendant la période la plus chaude de la journée (à partir de 13 h) et ce pendant 3 à 4 heures par jour.

Le taux de mortalité global de 1,21% durant l'essai, est largement inférieur au taux de mortalité acceptable en aviculture (5%).

2.2.8- ANALYSE ECONOMIQUE DE L'EFFET D'UNE SUPPLEMENTATION DES PHYTASES SUR LA PRODUCTIVITE

L'addition de phytase dans les rations a permis de réduire le coût de l'aliment surtout au niveau du lot 2. Mais sur le plan économique, le lot 1 a donné les meilleurs résultats avec une marge bénéficiaire de 76 F CFA par poulet par rapport au lot 3 et 87 F CFA par rapport au lot 2. Ainsi, par rapport au lot L3, pour 5 FCFA supplémentaires investis dans l'aliment L1 par poulet, on obtient à la vente 81 FCFA supplémentaires et 119 supplémentaires par rapport à L2 lorsqu'on investit 32 F CFA dans L1. Ces résultats ne corroborent pas l'étude qui a été menée par **CHAPOUTOT et PRESSEDA (2005)**. Aussi, il est bon de préciser qu' 39^{ème} jour d'âge des volailles, ils avaient atteint le poids d'abattage, ce qui constituerait une marge bénéficiaire sur le coût de production notamment, par la réduction du coût de l'aliment.

2.3- RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES

Au vu de nos résultats nous voulons faire les recommandations suivantes :

- Que cet essai soit repris en faisant varier, la présentation de l'aliment avec l'âge des poussins ;
- Que le mélange des matières premières soit confié à une industrie de fabrication d'aliment pour s'assurer de l'homogénéité du mélange ;
- Il sera aussi souhaitable de déterminer la teneur du phosphore dans les déjections par rapport à l'ingéré, ce qui pourrait nous renseigner également sur la quantité de phosphore retenue ;
- Qu'un premier abattage soit réalisé au 22^{ème} jour, afin d'étudier les paramètres de croissance, de consommation, de minéralisation et les comparés au 42^{ème} jour ;
- D'autres études peuvent être faites parallèlement à ce sujet pour voir l'influence de différents niveaux de phytase sur la croissance, afin, de déterminer la dose optimale pouvant entraîner dans nos conditions, une meilleure utilisation du phosphore des céréales locales ;
- On pourrait également étudier l'impact de l'utilisation des phytases sur la réduction de la pollution phosphorée et azotée, surtout dans la zone périurbaine de Dakar où l'on trouve une forte population de volailles et de porcs.

CONCLUSION

La plus grande partie des matières premières utilisées dans la formulation des aliments des monogastriques, principalement les porcs et les volailles est constituée de céréales et de tourteaux. Ces matières représentent environ 90 p.100 du volume des ingrédients. Nous rappelons que le but de la formulation des aliments est, de couvrir les besoins des animaux c'est-à-dire l'entretien, la croissance, la production et la reproduction à partir des matières premières de qualité et disponibles.

Les principales céréales utilisées (le maïs, le soja, le blé etc) contiennent une quantité de phosphore qui pouvait couvrir les besoins des animaux. Malheureusement, 50 à 80 p.100 de ce phosphore, forment une molécule complexe appelée phytate. La presque totalité du phosphore phytique se trouvant dans les ingrédients composant l'aliment pour porcs et volailles n'est pas assimilable par ces animaux et est rejetée dans les matières fécales. Les phytates sont donc insolubles et nécessitent l'action des phytases, qui sont des enzymes capables de les hydrolyser. Les monogastriques en général, ne produisent pas cette enzyme sinon en quantité très négligeable.

Extraite pour la première fois à partir d'*Aspergillus ficuum* en 1971 aux Etats-Unis, NELSON et ses collaborateurs, furent les premiers à incorporer les phytases dans la ration pour poulet de chair. Les nombreux travaux effectués depuis les années 1990 à nos jours, indiquent les effets remarquables des phytases sur les animaux. En effet, Les phytases exogènes utilisées comme additif alimentaire, permettent non seulement, de réduire l'addition de minéraux (P et Ca) supplémentaires dans la ration du poulet de chair en augmentant la disponibilité des minéraux liés aux molécules d'acide phytique, mais aussi de minimiser la quantité de P excrétée. Ceci contribue à diminuer les risques d'eutrophisation des eaux. La supplémentation des régimes avec une phytase exogène permet également, de réduire l'effet négatif du phytate sur le flux endogène et limiter les pertes en nutriments.

En somme, tout en luttant contre les effets antinutritionnels des phytates, les phytases améliorent les performances de croissance, l'indice de consommation et la robustesse des os. Certains auteurs ont même observé la diminution du taux de mortalité.

Aujourd'hui, les phytases sont très utilisées en Europe, en Amérique, en Asie, en Afrique du nord. L'incorporation de ces enzymes dans l'alimentation des poulets et des porcs est inévitable dans ces grandes métropoles surtout avec l'envolée du prix du phosphore inorganique. Ayant conscience de ces nombreux avantages économiques et environnementaux, il nous semble important d'étudier l'efficacité de ces enzymes sur les performances zootechniques, dans nos conditions de productions en milieu chaud et avec nos matières premières, le maïs principalement, le sorgho et des matières importées notamment le blé.

C'est dans cette optique que nous avons voulu tester et voir les effets de deux phytases, le NATUPHOS[®] et la PHYSIN[®] d'origine, respectivement, fongique et bactérienne sur la croissance des poulets de chair, au 42^{ème} jour d'âge.

Initialement avec un effectif de 500 poussins, l'essai s'est réalisé à partir du 7^{ème} jour sur 495 poulets de chair de souche Cobb 500. Les animaux ont été mis en trois lots L1, L2, L3. Ils ont été nourris avec des rations carencées en P et Ca, et supplémentées de NATUPHOS[®] à un taux d'incorporation de 0,1% pour le lot 2 et de PHYSIN[®] à un taux d'incorporation de 0,2% pour le lot 3. Le lot 1 étant le témoin, a été nourri avec une ration non supplémentée en phytase. Grâce aux pesées des poulets à J7, J21, J42 et les pesées quotidiennes des quantités d'aliments distribuées et refusées, nous avons pu évaluer l'effet des phytases sur la croissance des poulets. Les pattes ont été aussi prélevées et pesées à l'abattage pour l'évaluation du taux des cendres.

Nous avons obtenu les résultats suivants :

- La croissance pondérale des lots ayant reçu une ration supplémentée (L2 et L3) est presque identique. Comparée au lot témoin, on note une baisse pondérale significative ($p < 0,05$). Les poids vifs à l'abattage sont de 2171,89 g, de 2086,22 g et de 2113,83 g, respectivement, pour les lots L1, L2 et L3 ;
- Le gain moyen quotidien (GMQ) global est de 53,15 g/j pour le lot1, de 50,79 g/j pour le lot 2 et de 51,4 g/j pour le lot 3 ;
- Tout comme le poids vif à l'abattage, le poids carcasse de L1 est significativement meilleur ($p < 0,05$) avec une valeur de 1898,69 g. Les poids carcasses des lots 2 et 3 sont presque identiques sauf que, celui du lot 3 est nettement supérieur (1849,92 g) à celui du Le lot 2 qui avait un poids carcasse de 1826,46 g ;

- Les rendements carcasses sont cependant, assez proches les uns des autres. Les valeurs pour L1, L2 et L3 sont, respectivement, de 87,33%, de 87,16% et de 87,50 %. Le lot 3 ayant obtenu le meilleur rendement carcasse ;
- Pour ce qui est de la consommation, bien que la différence ne soit pas significative, la consommation alimentaire du lot3 est légèrement plus élevée que celles des autres lots. Les quantités d'aliment consommées sont, respectivement, de 3,950 kg, de 3,846 kg et de 3,953 kg par sujet pour les lots L1, L2 et L3 ;
- L'indice de consommation s'est considérablement amélioré pendant les phases croissances et finition. On a enregistré 1,64 pour L1, 1,65 pour L2 et 1,67 pour L3 ;
- La minéralisation osseuse des lots est pratiquement identique. Néanmoins, le lot 3 a obtenu comparativement au lot témoin, une meilleure minéralisation. Le taux des cendres est de 0,526 % pour L1, de 0,512 % pour L2 et de 0,539 % pour L3 ;
- Nous avons observé 75% des cas de paralysie dans le lot témoin. Un (1) seul cas sur les 4 observés durant tout l'essai est apparu dans le lot 3. Aucun cas n'a été observé dans le lot 2 ;
- Sur toute la période de notre essai, nous avons enregistré un taux de mortalité global de 1,21%. Dans le lot 1, nous avons une proportion de 1,21% de mortalité contre 2,42% dans le lot L3. Aucun cas de mortalité n'est observé dans le lot 2.

Au terme de notre expérimentation, il ressort que la supplémentation des phytases bactérienne et fongique dans la ration des poulets chair, carencé en phosphore et en calcium au démarrage, n'a pas permis d'améliorer significativement les performances de croissance, le taux de mortalité et la minéralisation osseuse.

Bien que, les effets de ces deux enzymes soient comparables, nous avons néanmoins remarqué que la phytase microbienne a eu plus d'effets positifs, même sur le plan économique.

Nous ne saurons terminer notre présentation sans faire des recommandations. Nous recommandons :

- Que cette expérimentation soit reprise et que le mélange des matières premières soit confié à une industrie de fabrication d'aliment pour s'assurer de l'homogénéité du mélange ;
- Il sera aussi souhaitable de déterminer la teneur du phosphore dans les déjections par rapport à l'ingéré, ce qui pourrait nous renseigner également sur la quantité retenue ;

D'autres études peuvent être faites parallèlement à ce sujet pour voir l'influence de différents niveaux de phytase sur la croissance des poulets de chair, afin de déterminer la dose optimale pouvant entraîner dans nos conditions, une meilleure utilisation du phosphore et le calcium des céréales locales.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. ADEOLA O., ORBAN J. I., RAGLAND D., CLINE T. R., SUTTON A. L., 1998.

Phytase and cholecalciferol supplementation of low-calcium and low-phosphorus diets for pigs. *Can. j. of Anim. Sci.*, : 307-313.

2. 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.

3. 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.

4. 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.

5. 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.

6. 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.

7. BERNADET M. D., GUY G., NYS Y., 2006.

Effet du taux de calcium sur l'activité phytasique et la réduction des rejets phosphores chez le canard mulard durant la phase de croissance et de finition. Journées de la Recherche sur les Palmipèdes à Foie Gras, 18-19 octobre, Arcachon, France. 114- 117.

8. 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.

9. BLEUKX W., 2005.

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

10. BORDAS A. et MINVIELLE F., 1997.

Réponse à la chaleur de poules pondeuses issues de lignées sélectionnées pour une faible (R-) ou forte (R+) consommation alimentaire résiduelle. *Genet. Sel. Evol.*, **29**: 279-290.

11. CARDINALE E., TALL F., KANE P., KONTE M., 2000.

Consommation de poulets de chair au Sénégal et risque pour la santé publique. Actes de l'atelier International, CIRAD-FAO, 11-13 décembre, Montpellier, France. 1- 6.

12. CASTILLON P., 2005.

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

13. CHAPOUTOT P. et PRESSEDA F., 2005.

Conséquences des nouveaux «systèmes d'unités phosphore» sur la formulation des régimes. *INRA Prod. Anim.*, **18** : 209-228.

14. 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.

15. COWIESON A., PERON A., DEBICKI-GARNIER A. M., MESSEGER B., 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.

16. 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.

17. CROSS H.S., DEBIEC H., PETERLIK M., 1990.

Mechanism and regulation of intestinal phosphate absorption. *Miner. Electrolyte Metab.* **16**: 115-124.

18. DEBICKI-GARNIER A.M., SANDS J., PERON A., MESSEGER B., 2007.

Efficacité et mode d'action d'une nouvelle phytase en alimentation des volailles. Journées de la Recherche Avicole, 28-29 mars 2007, Tours, France. 150-153.

19. DILGER R.N., ONYANGO E.M., SANDS J.S., ADEOLA O., 2004.

Evaluation of microbial phytase in broiler diets. *Poult. Sci.*, **83** : 962-970.

20. DROGOUL C., GADOUD R., JOSEPH M.M., JUSSIAU R., 2004.

Nutrition et alimentation des animaux d'élevage.- Paris: Educagri editions.- 312 p.

21. EDWARDS H. M., 1993.

Dietary 1,25-Dihydroxycholecalciferol Supplementation Increases Natural Phytate Phosphorus Utilization in Chickens. *J. Nutr.*, **123**: 567-577.

22. EECKHOUT 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.

23. EECKHOUT W. et DE PAEPE M., 1994.

Total phosphorus, phytate-phosphorus and phytase activity in plant feedstuffs. *Anim. Feed Sci. Technol.*, **47**: 19-29.

24. 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.

25. ERDMAN J.W., 1979.

Oilseed phytates: Nutritional implication. *J. Am. Oil. Chem. Soc.*, **56**: 736-741.

26. FEILLET P., 2000.

Le grain de blé : Composition et utilisation.-Paris : INRA.- 312 p.

27. FERRANDO R., 1964.

Les bases de l'alimentation.-Paris : Vigot et Frères.- 388 p.

28. FONTAINE N., FOURDIN A., POINTILLART A., 1985.

Absence d'effet de la vitamine D sur la phytase et la phosphatase alcaline intestinale : relation avec l'absorption du phosphore phytique chez le porc. *Reprod. Nutr. Dévelop.* **25** : 717-727.

29. FOURDIN A., 1984.

Valorisation par la phytase du phosphore phytique des grains : Introduction bibliographique sur la phytase. Mémoire DEA: Sciences Alimentaires, Paris XI-ENSIAM Massy.

30. 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.

31. 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.

32. GRYNSPAN F. et CHERYAN M., 1983.

Calcium phytate: Effect of pH and molar ratio on in vitro solubility. *JAOCs*, **60**: 1761-1764.

33. GUEGUEN L., BESANCON 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.

34. 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.

35. GUEGUEN L., 2005.

La petite histoire du phosphore en alimentation animale : les grandes étapes du demi-siècle. *INRA Prod. Anim.*, **18**: 149-151.

36. 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.

37. 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.

38. INRA, 1991.

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

39. 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.

40. IQBAL T. H., LEWIS K. O., COOPER B. T., 1994.

Phytase activity in the human and rat small intestine. *GUT*, **35**: 1233-1236.

41. JENDZA J.A., DILGER R.N., SANDS J. S., ADEOLA O., 2006.

Efficacy and equivalency of an Escherichia coli-derived phytase for replacing inorganic phosphorus in the diets of broiler chickens and young pigs. *J. Anim. Sci.*, **84**: 3364-3374.

42. JONDREVILLE C., REVY P.S., JAFFREZIC A., DOURMAD J.Y., 2002.

Le cuivre dans l'alimentation du porc : oligo-élément essentiel, facteur de croissance et risque potentiel pour l'Homme et l'environnement. *INRA Prod. Anim.*, **15** : 247-265.

43. JONDREVILLE C. et DOURMAD J.Y., 2005.

Le phosphore dans la nutrition des porcs. *INRA Prod. Anim.*, **18**: 183-192.

44. KEROVUO J., ROUVINEN J., HATZACK F., BIOCHEM. J., 2000.

Analysis of myo-inositol hexakisphosphate hydrolysis by Bacillus phytase: Indication of a novel reaction mechanism. *Biochem.J.*, **352**: 623-628.

45. KIM J.C., MULLAN B.P., SELLE P.H., PLUSKE J.R., 2002.

Levels of total phosphorus, phytate phosphorus, and phytase activity in three varieties of Western Australian wheats in response to growing region, growing season, and storage. *Austr. J. Agric. Res.*, **53**: 1361-1366.

46. KIM Y. O., KIM H. K., BAE K. S., YU J. H., OH T. K., 1998a.

Purification and properties of a thermostable phytase from *Bacillus* sp. DS11. *Enzyme Microbiol. Technol.*, **22**, 2-7.

47. KOLB E., 1975.

Physiologie des animaux domestiques.- Paris : Vigot-Frères.- 974 p.

48. 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.

49. LARBIER M. et LECLERCQ B., 1992.

Nutrition et alimentation des volailles.- Paris : INRA.- 355 p.

50. LES ACTUALITES NUTRALIANCE, 2007.

Les phytases en volailles : pour diminuer les rejets de phosphore dans l'environnement, les Actualités Nutraliance, 14.

51. 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.

52. LETERRIER C., CONSTANTIN P., LE BIHAN DUVAL E., MARCH G., NYS Y., 1998.

Troubles locomoteurs et qualité osseuse chez les volailles de chair. *INRA Prod. Anim.*, **11**: 125-130.

53. 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.

54. 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.

55. 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.

56. MAGNIN M., JEANMICHEL P., MAHIEU A., 2009a.

Interactions entre les apports relatifs de calcium et de phosphore et la croissance du poulet de chair. Journées de la Recherche Avicole, 25-26 mars, Saint Malo, France. 100-114.

57. MAGNIN M., JEANMICHEL P., MAHIEU A., 2009b.

Réduction des apports de phosphore chez la dinde de 0 à 8 semaines : influence du niveau de calcium et des phytases microbiennes. Journées de la Recherche Avicole, 25-26 mars, Saint Malo, France. 140-143.

58. McGRATH J. M., SIMS J. T., MAGUIRE R. O., SAYLOR W. W., ANGEL R., 2009.

Modifying Broiler Diets with Phytase and Vitamin D Metabolite (1,25-OH D3): Impact on Phosphorus in Litter, Amended Soils, and Runoff. *J. Environ. Qual.* **39**: 324-332.

59. MESCHY F., 2002.

Recommandations d'apport en phosphore abordé chez les ruminants. *Renc. Rech. Ruminants*, **9** : 279-285.

60. 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.

61. SENEGAL. MINISTERE DE L'ELEVAGE, 2009.

Statistiques 2008 : filière avicole moderne.- Dakar : Ministère de l'Élevage.- 20 p

62. 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.

63. 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.

64. 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.

65. NYS Y., REVY P.S., JONDREVILLE C., 2003.

Zinc, cuivre et manganèse en aviculture : rôle, disponibilité et risque pour l'environnement. 5^{ème} Journées de la Recherche Avicole, 26 au 27 mars, Tours, France.

66. PAILLARD F. et PAILLARD M., 1992.

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

67. PARK W., 2002.

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

68. PAYNE R.L., LAVERGNE T.K., SOUTHERN L. L., 2005.

A comparison of two sources of phytase in liquid and dry forms in broilers. *Poult Sci.*, **84**: 265-272.

69. 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.

70. 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.

71. PETRA P., AURELI R., FRU F., 2009a.

Efficacité d'une phytase sur la digestibilité iléale apparente du phosphore chez la poule pondeuse. Journées de la Recherche Avicole, 25-26 mars, Saint Malo, France. 226-229.

72. PETRA P., FRU F., AURELI R., 2009b.

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.

73. PILLAI P.B., O'CONNOR-DENNIE T., OWENS C.M., EMMERT J.L., 2006.
Efficacy of an Escherichia coli phytase in broilers fed adequate or reduced phosphorus diets and its effect on carcass characteristics. *Poult Sci.*, **85**:1737-1745.

74. 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.

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

76. 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.

77. 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.

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

79. 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 re-entrant cannulas: Phytase activity. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.*, **85**: 414-419.

80. 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.

81. RAVINDRAN V., SELLE P. H., RAVINDRAN G., MOREL P. C. H., KIES A. K., 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.

82. REDDY N.R., SATHE S. K., SALUNKHE D. K., 1982.

Phytase in legumes and cereals. *Adv. Food. Res.*, **28**: 1-92.

83. REGNIER A.M., 1976.

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

84. RIMBACH G. et WALZ O. P., 1996.

Effect of microbial phytase on cadmium accumulation in pigs. *Archives of Animal Nutrition*, **49**: 279 – 286.

85. RIMBACH G., WALTER A., MOST E., PALLAUF J., 1998.

Effect of microbial phytase on zinc bioavailability and cadmium and lead accumulation in growing rats. *Food and Chemical Toxicology*, **36**: 7-12.

86. RUDEAUX F. et BASTIANELLI D., 1999.

L'alimentation du poulet de chair en climat chaud. In : La production de poulets de chair en climat chaud.- Paris : ITAVI, 71-77.

87. SANOFI., 1996.

Guide de l'Aviculture Tropicale.- Libourne-France : Sanofi.- 117p.

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

89. SAUVEUR B., 1993.

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

90. 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.

91. SAUVEUR B., 1989.

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

92. SAUVEUR B., 1988.

Lésions osseuses et articulaires des pattes des volailles : rôles de l'alimentation. *INRA. Prod. Anim.*, **1** : 35- 45.

93. 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 G.J., 1990.

Improvement of phosphorus availability by microbial phytase in broiler and pigs. *Brit. J. Nutr.*, **64**: 525-540.

94. 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.

95. 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.

96. SMITH A. J., 1992.

L'élevage de la volaille.- Wageningen: CTA ; Paris: Maisonneuve et Larose.-2v.- 347p.- (Le Technicien d'Agriculture Tropicale).

97. SMITH A. J., 1997.

L'élevage de la volaille.- Paris : Maisonneuve et Larose.- vol.1 et vol 2_ 368p.- (Les techniciens d'agriculture tropicale).

98. SOUILEM O. et GOGNY M., 1994.

Particularités de la physiologie digestive des volailles. *Revue de médecine Vétérinaire*, **145** : 525-537.

99. SOUTHERN L., 2010.

Phytase Restores Growth Performance and Bone Characteristics in 0 to 21 day Broilers Fed Varying Levels of Dietary Calcium. *Feedinfo News Service*, 8p.

100. 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.

101. THIONGANE Y., 1982.

Contribution à l'étude de l'alimentation minérale des bovins au Sénégal "les macros - éléments". Thèse : Méd. Vét: Dakar ; 23.

102. TORTORA G. J. et GRABOWSKI S. R., 2002.

Principe d'Anatomie et de Physiologie. 3è Ed. De Boeck Université, Bruxelles, 1256 p.

103. 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.

104. TRAORE E. H., 2006.

Première évaluation de la structure et de l'importance du secteur avicole commercial et familial en Afrique de l'Ouest. Rapport Sénégal.- Rome : FAO.- 52p

105. VAN EEKEREN N., MAAS A., SAATKAMP H.W., VERSCHUUR M., 2006.

L'élevage des poules à petite échelle.- Wageningen: fondation Agromisa et CTA.-97p

106. VILLATE D., 2001.

Les maladies des volailles.- Paris : France Agricole.- 399 p.

107. WATSON B.C., MATTHEWS J.O., SOUTHERN L. L., SHELTON J.L. 2006.

The effects of phytase on growth performance and intestinal transit time of broilers fed nutritionally adequate diets and diets deficient in calcium and phosphorus. *Poult Sci.*, **85**:493-497.

108. 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.

109. WOLTER R., 1974.

Alimentation et troubles du développement osseux chez les carnivores domestiques. *Rev. Méd. Vét.* **124**: 1137-1145.

110. 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.

111. 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.

112. YANKE L. J., BAE H. D., SELINGER L. B., CHENG K.J., 1998.

Phytase activity of anaerobic ruminal bacteria. *Journal Microbiology*, **144** : 1565-1573.

113. YO T., PICARD M., GUERIN H., DAUVILLIERS P., 1994.

Alimentation séparée (céréales graines entières + aliment complémentaire granulé) chez les poulets de chair en climat chaud. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, **47** : 319-327.

114. 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.

115. CHANCY M., 2005.

Identification de créneaux potentiels dans les filières rurales Haïtiennes. (HA-T1008/ATN-FC-9052). Filière avicole intensive - poulets de chair. <En ligne> Accès Internet :http://www.google.fr/#hl=fr&q=Identification+de+creneaux+potentiels+dans+les+fili%C3%A8res+rurales+haitiennes.+%28HA-T1008%2FATN-FC9052%29.+filiere+avicole+intensive+%E2%80%93+poulets+de+chair&aq=f&aqi=&aql=&oq=&gs_rfai=&fp=f5eb1d19a2b9d1bd. (Page consultée le 08/05/2010).

116. HUBBARD, 2006.

Guide d'élevage poulets de chair Hubbard F15. <En ligne> Accès internet : <http://www.hubbardbreeders.com/managementguides/index.php?id=19>. (Page consultée le 10/01/2010)

117. 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. <En ligne> Accès internet : ressources.ciheam.org/om/pdf/c26/97605980.pdf. (Page consultée le 09/04/2010).

118. KEROVUO J., 2000.

A Novel Phytase from *Bacillus*. Characterization and Production of the Enzyme. <En ligne> Accès internet: <https://oa.doria.fi/bitstream/handle/10024/2363/anovelph.pdf?sequence=1> (Page consultée 23/03/2010).

119. MENDOZA PARRA M. A., 2002.

Les phytases : Structure, Caractérisation et Applications. <En ligne >accès internet : <http://www.123bio.net/revues/phytases/index.html> (Page consultée le 24/09/2009)

120. LA CHAMBRE REGIONALE D'AGRICULTURE DES PAYS DE LA LOIRE., 2005.

La réduction des rejets par la voie alimentaire. <En ligne> Accès internet : http://www.mayenne.chambagri.fr/iso_album/plaquette_04_reduction_rejets.pdf (Page consultée le 10/04/2010)

121. LE BIEN ETRE ANIMAL, 2009.

<En ligne> Accès internet : <http://www.matines.com/web/SiteWeb2009.nsf/fiche8.pdf> (Page consultée le 24/10/2009).

122. REUSSIR AVICULTURE, 2006.

Phytases et baisses de surface : Baisse spectaculaire des rejets phosphorés en Bretagne. <En ligne> Accès internet : <http://www.reussir-aviculture.com/actualites/phytases-et-baisses-de-surface-baisse-spectaculaire-des-rejets-phosphores-en-bretagne&fldSearch=:23911.html>. (Page consultée le 30/03/2010)

123. 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 03/04/2010)

124. VIANDE MAGAZINE, 2008.

Les phytase une solution durable. <En ligne> Accès internet : <http://www.matines.com/web/SiteWeb2009.nsf/fiche8.pdf> (Page consultée le 20/03/2010).

125. 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&DISPLAY=DESC>. (Page consultée le 24/09/09)

ANNEXES

SERMENT DES VETERINAIRES DIPLOMES DE DAKAR

« Fidèlement attaché aux directives de **Claude BOURGELAT**, fondateur de l'enseignement vétérinaire dans le monde, je promets et je jure devant mes maîtres et mes aînés :

- ❖ d'avoir en tous moments et en tous lieux le souci de la dignité et de l'honneur de la profession vétérinaire ;
- ❖ d'observer en toutes circonstances les principes de correction et de droiture fixés par le code de déontologie de mon pays ;
- ❖ de prouver par ma conduite, ma conviction, que la fortune consiste moins dans le bien que l'on a, que dans celui que l'on peut faire ;
- ❖ de ne point mettre à trop haut prix le savoir que je dois à la générosité de ma patrie et à la sollicitude de tous ceux qui m'ont permis de réaliser ma vocation.

Que toute confiance me soit retirée s'il advient que je me parjure»

EFFETS DES PHYTASES D'ORIGINE MICROBIENNE ET FONGIQUE SUR LA CROISSANCE DES POULETS DE CHAIR AU SENEGAL

RESUME

Le phosphore, présent dans les végétaux sous forme de phosphore phytique, est un minéral essentiel à la croissance du poulet de chair. L'augmentation du prix du phosphore minéral pousse les nutritionnistes à utiliser des phytases afin d'améliorer la disponibilité du phosphore des plantes et ainsi réduire l'ajout de phosphore inorganique dans les rations alimentaires. De ce qui précède nous avons menée une étude du 18 Novembre au 30 décembre 2009 afin d'évaluer les effets du Natuphos[®] et de la physin[®] sur la croissance de 500 poulets de chair, de souche Cobb 500 non sexés. Les sujets ont été suivis jusqu'à 42 jours d'âge. Les poulets ont été nourris à partir de J7 à J21, *ad libitum*, avec un aliment à base de maïs. Le régime témoin (L1) contenait 1,05% de Ca et 0,6% de P. Les régimes L2 supplémenté avec du Natuphos[®] et L3 supplémenté avec la Physin[®] contenaient tous les deux 0,62% de Ca et 0,5% de P, avec des taux d'incorporation respectifs de 0,1% et 0,2%. Les performances de croissance ont été mesurées à J7, J21 et J42, la consommation a été déterminée quotidiennement et la qualité de la minéralisation des os de la patte a été mesurée à 42 jours d'âge. Les résultats suivants ont été obtenus :

- Les poids vifs moyens respectifs à 42 jours ont été de 2171,89 ± 306,87 g pour le lot L1, de 2086,22 ± 286,66 g pour le lot L2, et de 2113,83 ± 243,06 g pour le lot L3.
- Pour ce qui est du gain moyen quotidien (GMQ), le poids carcasse, l'indice de consommation et la consommation alimentaire, les meilleurs résultats ont été obtenu avec le lot L1 contre toutes attentes. Par contre le lot L3 a eu un rendement carcasse plus élevé (87,50 %) bien que non significatif.
- Nous avons observé une supériorité minérale des os de 2,47% de L3 par rapport à L1 et de 5,27% de L3 par rapport à L2.

Notre étude économique a révélé que les marges bénéficiaires sont respectivement de 2147 F CFA pour le lot L1, 2060 F CFA pour le lot L2 et 2071 pour le lot L3. Malgré le régime carencé en calcium et en phosphore, la plupart des paramètres zootechniques mesurés, n'ont pas présenté une différence significative. L'intérêt des phytases dans les conditions d'élevage du Sénégal mérite d'être mieux documenté.

Mots clés : Phytase- Alimentation- Phosphore- Calcium- Poulet de chair

ADRESSE DE L'AUTEUR :

Yoboué José Noël KOFFI

yobouekoffi@live.fr

Tel (+221) 77 224 34 34 / (+225) 47 67 27 56

BP 166 Bingerville (Côte d'Ivoire) / BP 5077 Dakar (Sénégal)