

UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR



ECOLE INTER-ETATS DES SCIENCES ET MEDECINE VETERINAIRES

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



ANNEE 1995



ECOLE INTER-ETATS  
DES SCIENCES ET MEDECINE  
VETERINAIRES DE DAKAR  
N° 34  
BIBLIOTHEQUE

**CONTRIBUTION A L'ETUDE DE L'INFLUENCE DE LA  
SUPPLEMENTATION EN PHYTASE MICROBIENNE  
(ASPERGILLUS NIGER) SUR L'UTILISATION DU PHOSPHORE  
ALIMENTAIRE CHEZ LE LAPIN EN MILIEU TROPICAL**

**THESE**

PRESENTEE ET SOUTENUE PUBLIQUEMENT  
LE 31 JUILLET 1995 DEVANT LA FACULTE DE MEDECINE ET DE PHARMACIE DE DAKAR  
POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR VETERINAIRE  
( DIPLOME D'ETAT )

PAR

**Jean Claude NZIMULINDA**  
Né en 1968 À MUKINGO (RWANDA)

**JURY**

|                       |                          |  |
|-----------------------|--------------------------|--|
| Président :           | M. Papa Demba NDIAYE     | Professeur à la Faculté de Médecine et de Pharmacie de Dakar                   |
| Rapporteur de Thèse : | M. Malang SEYDI          | Professeur à l'E.I.S.M.V. de Dakar   |
| Membres :             | M. Mamadou BADIANE,      | Maître de Conférences Agrégé à la Faculté de Médecine et de Pharmacie de Dakar |
|                       | M. Louis Joseph PANGUI,  | Professeur à l'E.I.S.M.V de Dakar  |
| Directeur de Thèse :  | M. Gbeukoh Pafou GONGNET | Maître Assistant à l'E.I.S.M.V. de Dakar                                       |

**ECOLE INTER-ETATS DES SCIENCES**

**ET MEDECINE VETERINAIRES**

**ANNEE UNIVERSITAIRE 1994-1995**

**DE DAKAR**

## **COMITE DE DIRECTION**

**1. DIRECTEUR**

Professeur François Adébayo ABIOLA

**2. DIRECTEUR ADMINISTRATIF**

Monsieur Jean Paul LAPORTE

**3. COORDONNATEURS**

• Professeur Malang SEYDI

Coordonnateur des Etudes

• Professeur Justin Ayayi AKAKPO

Coordonnateur des Stages et Formation Post-Universitaires

• Professeur Germain Jérôme SAWADOGO

Coordonnateur Recherche-Développement

## **II - PERSONNEL EN MISSION (prévu)**

### **. Parasitologie**

Ph. DORCHIES

Professeur ENV-TOULOUSE

M. KILANI

Professeur ENMV - SIDI THABET

### **. Anatomie Pathologique Générale**

G. VANHAVERBEKE

Professeur ENV - TOULOUSE

### **. Anatomie**

A. H. MATOUSSI

Maître de Conférences ENMV-SIDI  
THABET

### **. Pathologie des Equidés et Carnivores**

A. CHABCHOUB

Maître de Conférences ENMV-SIDI  
THABET

### **. Zootechnie-Alimentation**

A. BEN YOUNES

Professeur ENMV-SIDI THABET

A. GOURO

Maître de Conférences Université du  
Niger

**. Botanique**

Antoine NONGONIERMA

Professeur

IFAN - UCAD de Dakar

**. Pathologie Médicale du Bétail**

Maguatte NDIAYE

Docteur Vétérinaire

Chercheur Laboratoire de Recherches  
Vétérinaires de Hann - DAKAR

**. Agro-Pédologie**

Alioune DIAGNE

Docteur Ingénieur

Département "Sciences des Sols"  
Ecole Nationale Supérieure  
d'Agronomie (ENSA) THIES

**. Sociologie**

Oussouby TOURE

Sociologue

**. HIDAOA**

Abdoulaye DIOUF

Ingénieur des Industries Agricoles et  
Alimentaires  
Chef de la Division Agro-  
Alimentaire de l'Institut Sénégalais  
de Normalisation (ISN) DAKAR

### **3. Parasitologie-Maladies Parasitaires-Zoologie Appliquée**

|                         |                               |
|-------------------------|-------------------------------|
| Louis Joseph PANGUI     | Professeur                    |
| Aly CISSE               | Docteur Vétérinaire Vacataire |
| Komlan Dégnon DJIDOHOUN | Moniteur                      |

### **4. Pathologie Médicale - Anatomie Pathologique - Clinique Ambulante**

|                       |                               |
|-----------------------|-------------------------------|
| Yalacé Yamba KABORET  | Maître-Assistant              |
| Pierre DECONINCK      | Assistant                     |
| Félix Cyprien BIAOU   | Moniteur                      |
| Mamadou Abibou DIAGNE | Moniteur                      |
| Fabien HABYARIMANA    | Docteur Vétérinaire Vacataire |

### **5. Pharmacie-Toxicologie**

|                                 |            |
|---------------------------------|------------|
| François Adébayo ABIOLA         | Professeur |
| Mireille Cathérine KADJA(Melle) | Monitrice  |

### **- PERSONNEL VACATAIRE (prévu)**

#### **. Biophysique**

|            |                                     |
|------------|-------------------------------------|
| René NDOYE | Professeur                          |
|            | Faculté de Médecine et de Pharmacie |
|            | - UCAD de Dakar                     |

|                      |                                     |
|----------------------|-------------------------------------|
| Sylvie GASSAMA (Mme) | Maître de Conférences Agrégé        |
|                      | Faculté de Médecine et de Pharmacie |
|                      | - UCAD de Dakar                     |

## **5. Physique et Chimie Biologiques et Médicales**

|                             |            |
|-----------------------------|------------|
| Germain Jérôme SAWADOGO     | Professeur |
| Jean Népomuscène MANIRARORA | Moniteur   |

## **6. Zootechnie-Alimentation**

|                       |                  |
|-----------------------|------------------|
| Gbeukoh Pafou GONGNET | Maître-Assistant |
| Ayao MISSOHOU         | Assistant        |
| Georges Alain NDJENG  | Moniteur         |

## **DEPARTEMENT SANTE PUBLIQUE ET ENVIRONNEMENT**

### **CHEF DE DEPARTMENT**

|                     |            |
|---------------------|------------|
| Louis Joseph PANGUI | Professeur |
|---------------------|------------|

### **1. Hygiène et Industrie des Denrées Alimentaires d'Origine Animale (HIDAOA)**

|                     |                               |
|---------------------|-------------------------------|
| Malang SEYDI        | Professeur                    |
| MAMADOU DIAGNE      | Moniteur                      |
| Penda SYLLA (Melle) | Docteur Vétérinaire Vacataire |

### **2. Microbiologie-Immunologie-Pathologie Infectieuse**

|                          |                               |
|--------------------------|-------------------------------|
| Justin Ayayi AKAKPO      | Professeur                    |
| Jean OUDAR               | Professeur                    |
| Rianatou ALAMBEDJI (Mme) | Assistante                    |
| Mamadou Lamine GASSAMA   | Moniteur                      |
| Ousseynou DIOUF          | Docteur Vétérinaire Vacataire |

# **I - PERSONNEL ENSEIGNANT**

## **A - DEPARTEMENT SCIENCES BIOLOGIQUES ET PRODUCTIONS ANIMALES**

### **CHEF DE DEPARTEMENT**

Moussa ASSANE

Professeur agrégé

### **1. Anatomie-Histologie-Embryologie**

Kondi AGBA

Professeur Agrégé

Pidemnéwé PATO

Moniteur

### **2. Chirurgie-Reproduction**

Papa El Hassane DIOP

Professeur

Thomas BAZARUSANGA

Moniteur

Mame Nahé DIOUF (Melle)

Docteur Vétérinaire Vacataire

### **3. Economie Rurale et Gestion**

Cheikh LY

Maître-Assistant

Hélène FOUCHER (Mme)

Assistante

### **4. Physiologie-Thérapeutique-Pharmacodynamie**

Alassane SERE

Professeur

Moussa ASSANE

Professeur Agrégé

Adèle KAM (Melle)

Monitrice

**- Au DIEU Tout puissant et à la Vierge MARIE**

Tu es mon berger Seigneur,

Rien ne sera manqué,

Où tu me conduis.

**- A la mémoire de mes parents**

Impossible d'exprimer ce que je ressens en pensant à vous en ce moment solennel...

- Ma mère : très tôt arrachée à notre affection. Tu n'a pas pu vivre l'honneur de tout parent c'est-à-dire voir ses enfants grandir.

- Mon père arraché à notre affection à la fin de notre si longue formation c'est avec une énorme tristesse que nous avons appris ta disparition.

J'aurai aimé vous voir vivre ce jour mais Dieu en a décidé autrement.

Vos souvenirs nous resterons impérissables.

Puisse ce travail être le fruit de vos énormes sacrifices consentis pour notre éducation.

Que la terre vous soit légère.

**- A mon oncle Pierre Célestin NDIMURWANGO *in memoriam***

Tu es parti trop tôt, encore jeune.

Tu nous a toujours soutenu, encouragé, aidé.

C'est à toi que nous devons ce que nous sommes maintenant.

Ton brusque départ nous a profondément touché.

Pour nous tu resteras un modèle.

Reçois ici notre grand estime.

**- A notre frère unique Félicien RWAMUCYO, *in memoriam***

Tu est parti encore jeune, tu comptais beaucoup pour la famille.

Ce travail est aussi le tien.

Que la terre te soit légère.

Kandioura NOBA

Maître Assistant Faculté des Sciences  
- UCAD

**4 - Biologie Cellulaire Reproduction et Génétique**

Omar THIAW

Maître de Conférences Faculté des  
Sciences - UCAD

**5 - Embryologie et Zoologie**

Bhen Sikina TOGUEBAYE

Professeur Faculté des Sciences -  
UCAD

**6 - Physiologie et Anatomie comparées des vertébrés**

Cheikh Tidiane BA

Chargé d'enseignement Faculté des  
Sciences- UCAD

**7 - Anatomie et Extérieur des animaux domestiques**

Charles Kondi AGBA

Maître de Conférences Agrégé  
E.I.S.M.V.

**8 - Géologie**

A. FAYE

Faculté des Sciences - UCAD

R. SARR

Faculté des Sciences - UCAD

## **Statistiques**

Ayao MISSOHOU

Assistant E.I.S.M.V.

## **2 - Physique**

Issakha YOUM

Maître de Conférences Faculté des  
Sciences - UCAD

## **Chimie Organique**

Abdoulaye SAMB

## **Chimie Physique**

Serigne Amadou NDIAYE

Maître de Conférences Faculté des  
Sciences - UCAD

Alphonse TINE

Maître de Conférences Faculté des  
Sciences - UCAD

## **Chimie**

Abdoulaye DIOP

Maître de Conférences Faculté des  
Sciences-UCAD

## **3 - Biologie - Physiologie Végétale**

Papa Ibra SAMB

Chargé d'Enseignement Faculté des  
Sciences - UCAD

**. Denréeologie**

J. ROZIER

Professeur ENV-ALFORT

A. ETRIQUI

Professeur ENMV-SIDI THABET

**. Physique et Chimie Biologiques et Médicales**

P. BENARD

Professeur ENV-TOULOUSE

**. Pathologie Infectieuse**

J. CHANTAL

Professeur ENV-TOULOUSE

M. BOUZGHAIA

Maître de Conférences ENMV-SIDI  
THABET

**. Pharmacie-Toxicologie**

J. PUYT

Professeur ENV-NANTES

L. EL. BAHRI

Professeur ENMV - SIDI THABET

**PERSONNEL ENSEIGNANT C.P.E.V.**

**1 - Mathématiques**

Samba NDIA YE

Assistant Faculté des Sciences -  
UCAD

**JE DEDIE**

**CE MODESTE**

**TRAVAIL**

**- A notre grand-mère paternelle**

Tu as été notre deuxième mère.

Ce travail est le fruit des sacrifices consentis pour notre réussite. Tes conseils nous ont beaucoup aidé.

Que le Tout puissant puisse te donner la force de rester encore plus longtemps.

Profonde reconnaissance.

**- A mes soeurs**

Espérance NYIRASAFARI : tu as su remplir ton devoir d'aînée à l'égard de tes frères et soeurs, Béatrice MUKASINE, MUKESHIMANA.

Peut-être que Dieu veille sur vous encore, qu'il nous aide à nous retrouver.

**- A ma grand-mère maternelle, oncles, tantes, cousins, cousines...**

Accepter ce travail comme geste de ma profonde gratitude.

**- A la communauté rwandaise du Sénégal.**

**- A la 22ème promotion Salamata KANE**

Pour les longs moments passés ensemble.

**- A ma chère Patrie, le RWANDA.**

**- A tous ceux qui luttent pour la paix, la démocratie et le respect des droits de l'homme.**

**- Au SENEGAL, pays hôte.**

## **A NOS MAITRES ET JUGES**

**A Monsieur Papa Demba NDIAYE**, Professeur à la Faculté de Médecine et de Pharmacie de Dakar

C'est avec spontanéité que vous avez accepté de diriger ce travail. Votre disponibilité et votre simplicité nous ont beaucoup séduit.

Trouvez ici l'expression de notre profonde reconnaissance.

**A Monsieur Malang SEYDI**, Professeur à l'E.I.S.M.V. de Dakar

Vous nous avez fait l'honneur en acceptant spontanément de rapporter notre thèse.

Votre qualité d'enseignement et votre rigueur scientifique nous ont beaucoup séduit.

Sincères reconnaissances.

**A Monsieur Louis Joseph PANGUI**, Professeur à l'E.I.S.M.V. de Dakar

C'est avec plaisir que vous avez accepté de siéger dans notre jury de thèse.

Sincères remerciements.

**A Monsieur Mamadou BADIANE**, Maître de Conférences agrégé à la Faculté de Médecine et de Pharmacie de Dakar

C'est pour nous un grand honneur d'avoir accepté de juger ce travail.

Sincères remerciements.

**A Monsieur Gbeukoh Pafou GONGNET**

Vous nous avez inspiré ce sujet et vous l'avez dirigé avec toute la rigueur scientifique qu'on connaît de vous.

Votre simplicité et votre humanisme nous serviront d'exemple.

Trouvez ici l'expression de ma grande admiration.

## **NOS REMERCIEMENTS**

- Au FED pour le financement de notre formation.
- A notre Directeur de thèse Dr Gbeukoh Pafou GONGNET pour les valeurs humaines dont vous faites preuve. Nous avons appris beaucoup de chose auprès de vous qui, sans doute nous serviront dans la vie future.  
Merci pour vos inestimables conseils.
- A Mr SCHÖNER qui nous a fourni la phytase.
- A Madame Cathérine pour son aide matériel.
- Au personnel du Service de Zootechnie-Alimentation pour sa collaboration.
- A tous ceux qui, de près ou de loin ont participé au bon déroulement de ce travail.
- A Madame DIOUF Secrétaire au Département de Biologie Animale, Faculté des Sciences pour la dactylographie de cette thèse.

"Par délibération, la Faculté et l'Ecole 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".

## ABREVIATIONS

Anim. : Animal

A.T.P. : Adénosine triphosphate

Ca : Calcium

C.T.A. : Centre Technique de Coopération Agricole et Rurale

C.U.D.a : Coefficient d'utilisation digestive apparente

C.U.D.r : Coefficient d'utilisation digestive réelle

D H C C : Dihydroxycholécalférol

F A O : Food and Agriculture Organisation of the United Nations.

g : gramme

GMQ : Gain moyen quotidien

h : heure

I.C : Indice de consommation

I.E.M.V.I. : Institut d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux.

I.N.P. : Institut National Polytechnique de Toulouse.

I.N.R.A. : Institut National de Recherche Agronomique

I.V.V.O : Institut voor Veevoedingsonderzoek.

j : jour

K : Potassium

Kg : Kilogramme

M.F : Matière fraîche

Mg : Magnésium

min : minute

Mmol : Millimole

MS : Matière sèche

Na : Sodium

P : Phosphore

## LISTE DES FIGURES

- Figure 1 : Schéma des différents éléments de l'appareil digestif du lapin ..... 4
- Figure 2 : Variations de la composition minérale des cendres du lait de lapine en fonction du stade de lactation ..... 26
- Figure 3 : Structure chimique des phytates myo-inositol-hexaphosphate ..... 43

## LISTE DES TABLEAUX

|  |    |
|--|----|
| Tableau I : Composition des fèces dures et coecotrophes du lapin domestique .....  | 7  |
| Tableau II : Comparaison des teneurs en eau et en protéines des deux types de fèces de lapin .....   | 8  |
| Tableau III : Teneur en phosphore phytique de certaines matières premières en alimentation animale .....   | 14 |
| Tableau IV : Relation entre teneur en phosphore et calcium des farines animales ..   | 15 |
| Tableau V : Caractéristiques des sources hydrosolubles de phosphore en p.100 de produit brut .....   | 16 |
| Tableau VI : Caractéristiques des sources non hydrosolubles de phosphore en p.100 de produit brut .....  | 17 |
| Tableau VII : Intervalles de variation de valeurs de quelques paramètres biochimiques sanguins du lapin .....  | 21 |
| Tableau VIII : Quantités moyennes émises et composition de déjections produites par différentes catégories de lapins .....                                       | 23 |
| Tableau IX : Comparaison de la teneur en phosphore et en calcium des laits des principaux mammifères .....   | 27 |
| Tableau X : Exportation minérale dans le lait pour trois espèces domestiques .....   | 28 |
| Tableau XI : Composition en calcium et en phosphore souhaitable pour les aliments destinés aux lapins de différentes catégories élevés en système intensif ..... | 38 |
| Tableau XII : Composition du régime expérimental .....   | 47 |
| Tableau XIII : Composition chimique de l'aliment .....   | 47 |
| Tableau XIV : Composition du lot A .....   | 49 |
| Tableau XV : Composition du lot B .....  | 49 |
| Tableau XVI : Déroulement de l'expérience .....  | 50 |
| Tableau XVII : Formation des échantillons des urines .....   | 52 |
| Tableau XVIII : Influence de la supplémentation en phytase microbienne sur .....   | 56 |
| la consommation alimentaire, l'évolution pondérale et l'indice de consommation   |    |
| Tableau XIX : Influence de la supplémentation en phytase microbienne sur l'utilisation du phosphore alimentaire .....  | 59 |

# TABLES DES MATIERES

|  |    |
|--|----|
| <b>INTRODUCTION</b> .....  | 1  |
| <b>PREMIERE PARTIE : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE</b>  |    |
| <b>CHAPITRE 1 : GENERALITES SUR LA DIGESTION CHEZ LE LAPIN</b>                                     | 3  |
| 1.1 - Rappels anatomiques de l'appareil digestif .....   | 3  |
| 1.2 - Particularités physiologiques .....  | 5  |
| 1.2.1 - La transit digestif .....  | 5  |
| 1.2.2 - Mécanisme de la coecotrophie .....   | 7  |
| 1.2.3 - Conséquences de la coecotrophie : étude du coefficient de digestibilité<br>apparente ..... | 8  |
| <b>CHAPITRE 2 : GENERALITES SUR LE METABOLISME PHOSPHOCALCIQUE</b>                                 | 11 |
| 2.1 - Les apports de minéraux .....  | 11 |
| 2.1.1 - Notion de besoins .....  | 11 |
| 2.1.2 - Détermination des besoins en minéraux .....  | 12 |
| 2.1.3 - Sources de phosphore et de calcium .....   | 13 |
| 2.1.3.1 - Le phosphore .....   | 13 |
| 2.1.3.2 - Le calcium .....   | 17 |
| 2.2 - Absorption digestive de calcium et de phosphore .....  | 19 |
| 2.3 - Distribution de phosphore et de calcium dans l'organisme .....                               | 19 |
| 2.3.1 - Le phosphore .....   | 19 |
| 2.3.1.1 - Distribution dans le sang .....  | 19 |
| a) Le phosphore organique  |    |
| b) Le phosphore inorganique  |    |
| 2.3.1.2 - Le phosphore osseux .....  | 20 |
| 2.3.1.3 - Autres localisations .....   | 20 |
| 2.3.2 - Le calcium .....   | 20 |
| 2.3.2.1 - Distribution dans le sang et le secteur extracellulaire .....                            | 20 |
| a) Le calcium non diffusible   |    |
| b) Le calcium combiné sous forme de complexes  |    |
| c) Le calcium ionisé   |    |
| d) Le calcium extracellulaire non plasmatique  |    |

|   |    |
|---|----|
| 2.3.3 - La rétention de calcium et de phosphore .....     | 21 |
| 2.4 - Les pertes de calcium et de phosphore .....         | 22 |
| 2.4.1 - Pertes par les fèces .....                        | 22 |
| 2.4.2 - Pertes par les urines .....                       | 23 |
| 2.4.2.1 - Le calcium .....                                | 23 |
| a) La filtration glomérulaire                             |    |
| b) La réabsorption tubulaire                              |    |
| 2.4.2.2 - Le phosphore .....                              | 24 |
| 2.4.3 - Pertes par les productions .....                  | 24 |
| 2.4.3.1 - Exportations dans le lait .....                 | 24 |
| 2.4.3.2 - Exportations vers le fœtus .....                | 29 |
| 2.4.4 - Autres voies d'élimination .....                  | 29 |
| 2.5 - La régulation du métabolisme phosphocalcique .....  | 30 |
| 2.5.1 - Les hormones du métabolisme phosphocalcique ..... | 30 |
| 2.5.1.1 - La vitamine D .....                             | 30 |
| 2.5.1.2 - LA parathormone .....                           | 31 |
| 2.5.1.3 - La calcitonine .....                            | 31 |
| 2.5.2 - Récepteurs - contrôle - régulation .....          | 32 |
| 2.5.2.1 - Le tube digestif .....                          | 32 |
| a) Action du 1,25 DHCC                                    |    |
| b) Action de la parathormone                              |    |
| c) Action de la calcitonine                               |    |
| 2.5.2.2 - Le rein .....                                   | 33 |
| a) Action du 1,25 DHCC                                    |    |
| b) Action de la parathormone                              |    |
| c) Action de la calcitonine                               |    |
| 2.5.2.3 - Le tissu osseux .....                           | 34 |
| a) Action du 1,25 DHCC                                    |    |
| b) Action de la parathormone                              |    |
| c) Action de la calcitonine                               |    |
| 2.6 - Fonctions du calcium et du phosphore .....          | 36 |
| 2.6.1 - Fonctions du calcium .....                        | 36 |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.6.2 - Fonctions du phosphore .....                       | 36        |
| 2.7 - Le rapport phosphocalcique .....                     | 37        |
| <b>CHAPITRE 3 : EFFETS DE LA PHYTASE MICROBIENNE</b> ..... | <b>39</b> |
| 3.1 - Historique .....                                     | 39        |
| 3.2 - Activités phytasiques .....                          | 39        |
| 3.3 - Doses utilisées .....                                | 40        |
| 3.4 - Facteurs de variation .....                          | 40        |
| 3.4.1 - La température .....                               | 40        |
| 3.4.2 - Le pH .....  | 41        |
| 3.4.3 - Autres facteurs de variation .....                 | 41        |
| 3.5 - Autres rôles de la phytase .....                     | 45        |
| <b>DEUXIEME PARTIE : PARTIE EXPERIMENTALE</b>              |           |
| <b>CHAPITRE 1 : MATERIEL ET METHODES</b> .....             | <b>46</b> |
| 1.1 - Types d'animaux - conditions d'élevage .....         | 46        |
| 1.2 - Aliment .....  | 46        |
| 1.3 - Matériel technique et de laboratoire .....           | 48        |
| 1.3.1 - Matériel technique .....                           | 48        |
| 1.3.2 - Matériel de laboratoire .....                      | 48        |
| 1.4 - Conduite d'expérimentation .....                     | 49        |
| 1.4.1 - Constitution des lots .....                        | 49        |
| 1.4.2 - Phase d'adaptation .....                           | 50        |
| 1.4.3 - Phase expérimentale .....                          | 50        |
| 1.4.3.1 - Alimentation - abreuvement .....                 | 50        |
| 1.4.3.2 - Collecte des fèces et des urines .....           | 51        |
| 1.4.4 - Analyse des échantillons .....                     | 52        |
| 1.4.4.1 - Analyse des fèces .....                          | 52        |
| 1.4.4.1.1 - Préparation des échantillons .....             | 52        |
| 1.4.4.1.2 - Méthodes d'analyse .....                       | 52        |
| 1.4.4.2 - Analyse des urines .....                         | 54        |
| 1.4.5 - Analyse statistique .....                          | 54        |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>CHAPITRE 2 : RESULTATS</b> .....          | <b>55</b> |
| 2.1 - Consommation alimentaire .....         | 55        |
| 2.2 - Evolution pondérale .....              | 55        |
| 2.3 - Indice de consommation .....           | 55        |
| 2.4 - Bilan de phosphore .....               | 57        |
| 2.4.1 - Ingestion de phosphore .....         | 57        |
| 2.4.2 - Excrétion de phosphore .....         | 57        |
| 2.4.3 - Digestion de phosphore .....         | 58        |
| 2.4.4 - Rétention de phosphore .....         | 58        |
| <b>CHAPITRE 3 : DISCUSSION</b> .....         | <b>60</b> |
| 3.1 - Sujet de travail .....                 | 60        |
| 3.2 - Consommation alimentaire .....         | 60        |
| 3.3 - Evolution pondérale .....              | 61        |
| 3.4 - Indice de consommation .....           | 61        |
| 3.5 - Effets de la phytase microbienne ..... | 61        |
| <b>CONCLUSION GENERALE</b> .....             | <b>64</b> |
| <b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....                   | <b>66</b> |

## INTRODUCTION

L'Afrique, en particulier l'Afrique subsaharienne est confrontée à d'énormes difficultés économiques qui viennent s'ajouter à une démographie galopante et la baisse des productions. Cette situation accroît la pauvreté de l'ensemble de la population qui a alors les difficultés de s'approvisionner en protéines d'origine animale avec toutes les conséquences de sous-alimentation et de malnutrition.

Devant cette situation, l'élevage des animaux de basse-cour en particulier les lapins peut aider à résoudre ce problème d'approvisionnement en protéines tout en contribuant à l'amélioration du revenu de petits producteurs. Or il n'y a pas de production sans une bonne alimentation. C'est pourquoi nous nous sommes intéressés à l'alimentation du lapin en particulier son alimentation minérale phosphorée.

Comme chez tous les animaux monogastriques, les végétaux constituent la principale source de phosphore chez le lapin (2/3 à 3/4) associé au calcium, ils constituent les minéraux quantitativement les plus importants dans l'organisme des animaux. Ils représentent 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 (PARIGIBINI, 1986).

Pendant ces minéraux se trouvent dans les aliments le plus souvent sous forme de combinaisons difficilement assimilables par l'animal. La combinaison la plus fréquente se fait avec l'acide phytique. Il se forme alors les phytates de calcium et de phosphore.

Ces phytates vont empêcher l'utilisation digestive de ces minéraux qui vont alors se retrouver dans le milieu extérieur par les défécations. Il se pose à ce niveau le problème de pollution de l'environnement surtout dans les zones à élevage industriel. C'est ainsi qu'en Grande-Bretagne par exemple une taxe a été fixée pour les rejets phosphorés.

Parallèlement à cette excrétion, on enregistre les dépenses dans la complémentation des rations en éléments minéraux pour couvrir les besoins des animaux. Il en résulte les gaspillages économiques, ce qui augmente les coûts de production alors que le souci de tout éleveur est d'avoir les bons produits à moindre coût.

Pour pallier à ce problème, JONGBLOED et coll. (1993) ont proposé trois solutions possibles pour le phosphore.

Les apports en phosphore doivent correspondre aux besoins des animaux ce qui suppose la maîtrise de ces besoins et de la digestibilité du phosphore ce qui n'est pas souvent facile.

- Il faut utiliser dans la formulation des rations les matières premières qui présentent une faible concentration en phosphore avec une digestibilité élevée.

- Il faut incorporer dans l'alimentation animale les phytases exogènes.

C'est ainsi que nous avons voulu porter notre attention sur le dernier point pour étudier l'influence de la supplémentation en phytase tirée de *Aspergillus niger* sur l'utilisation du phosphore alimentaire chez le lapin.

Pour mener ce travail, nous l'avons divisé en deux parties:

- la première partie présente la synthèse bibliographique sur la digestion et le métabolisme phosphocalcique chez le lapin,
- la deuxième partie présente le travail personnel effectué pour arriver aux résultats qui nous ont permis de tirer les conclusions sur l'activité de la phytase.

PREMIERE PARTIE :

**SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE**

# CHAPITRE 1 : GENERALITES SUR LA DIGESTION

## CHEZ LE LAPIN

### 1.1 - RAPPELS ANATOMIQUES DE L'APPAREIL DIGESTIF

Le lapin est un herbivore monogastrique, ses organes de la digestion sont particulièrement développés et adaptés à l'absorption de grandes quantités d'aliments comme cela s'observe chez tous les herbivores consommant les aliments riches en lest.

Chez le lapin adulte (4-4,5 kg) ou subadulte (2,5-3 kg) le tube digestif a une longueur totale d'environ 4,5 à 5 mètres.

Après l'oesophage court, on trouve un estomac simple formant un réservoir d'une capacité d'environ 90 à 100 grammes. Il contient un mélange d'aliments plus ou moins pâteux.

L'intestin grêle qui lui fait suite mesure environ 3 m ; le contenu y est liquide surtout dans sa première partie. Cet intestin grêle débouche à la base du caecum, un réservoir qui mesure environ 40 à 45 centimètres de longueur pour un diamètre moyen de 3 à 4 centimètres. Il a une capacité d'environ 100 à 120 grammes.

Très près à l'embouchement de l'intestin grêle (entrée du caecum) se trouve le départ du côlon. De ce fait, le caecum apparaît comme une impasse branchée en diverticule sur l'axe intestin grêle-côlon. Ce dernier a une longueur d'environ 1,5 mètres; il est plissé, bosselé sur environ 50 cm (côlon proximal) et lisse dans sa partie distale (côlon distal).

La figure 1 montre les différents éléments de l'appareil digestif du lapin.

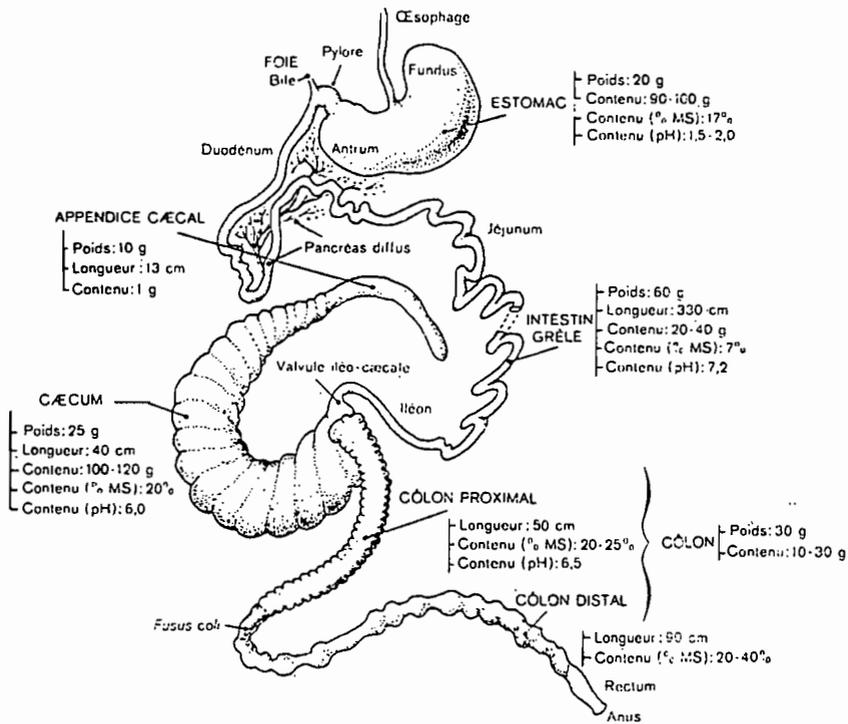


Figure 1. Schéma des différents éléments du tube digestif du lapin (LEBAS et coll. 1984)

Relativement plus développé chez le jeune que chez l'adulte le tube digestif a pratiquement atteint sa taille définitive chez le lapin dès 2,5-2,7 kg alors que l'animal ne pèse que 60 à 70 p.100 au maximum de son poids vif adulte.

Deux glandes importantes déversent leurs sécrétions dans l'intestin grêle : le foie et le pancréas. Globalement il convient de retenir la longueur de l'intestin grêle (3-3,5 mètres) avec son faible contenu relatif et l'importance des réservoirs que sont l'estomac et le caecum ; 70 à 80 p.100 du contenu sec total du tube digestif sont en effet concentrés dans les deux segments.

## 1.2 - PARTICULARITES PHYSIOLOGIQUES

### 1.2.1 - Le transit digestif

Les particules alimentaires consommées par le lapin arrivent rapidement dans l'estomac. Elles y trouvent un milieu très acide (pH : 1,5-2,0) et y séjournent quelques heures (3 à 6 heures environ) mais y subissent peu de transformations chimiques.

Le contenu de l'estomac est progressivement acheminé dans l'intestin grêle par petites salves grâce aux puissantes contractions stomacales. Dès l'entrée dans l'intestin grêle le contenu est dilué par l'afflux de la bile, par les premières sécrétions intestinales et enfin par le suc pancréatique.

Sous l'action des enzymes contenues dans les deux dernières sécrétions, les éléments aisément dégradables sont libérés, franchissent la paroi de l'intestin et sont épartis dans le sang en direction des cellules de l'organisme.

Les particules non dégradées, après un séjour total d'environ 1 h 30 min dans l'intestin grêle entrent dans le caecum, elles vont y séjourner un certain temps (2 à 12 h environ). Pendant cette période elles subissent une attaque par les enzymes des bactéries vivant dans le caecum.

Les éléments dégradables par cette nouvelle forme d'attaque (acides gras volatils principalement) sont libérés et à leur tour franchissent la paroi du tube digestif puis sont pris par le sang. Le contenu du caecum est à son tour évacué vers le côlon. Il est

constitué approximativement pour moitié par les particules alimentaires grosses et petites n'ayant pas été dégradées précédemment et pour l'autre moitié par les corps bactériens qui se sont développés dans le caecum au dépens des éléments arrivant de l'intestin grêle.

Jusqu'à ce stade, le fonctionnement du tube digestif du lapin n'est pas réellement différent de celui des autres monogastriques, par contre l'originalité concerne le fonctionnement du côlon proximal.

Le côlon proximal fabrique deux types de crottes : les crottes dures et les crottes molles appelées coecotrophes. Ces dernières sont riches en eau et en protéines tandis que la teneur en cellulose brute est inférieure. Si les crottes dures sont évacuées, à l'inverse les coecotrophes sont récupérées par l'animal dès leur émission à l'anus. De ce fait, même sur un sol grillagé, le lapin pratique la coecotrophie. Les crottes molles vont alors se retrouver en grande quantité dans l'estomac où elles peuvent représenter jusqu'à 3/4 du contenu.

A partir de ce moment, le contenu des coecotrophes suit une digestion identique à celle des autres aliments. Compte tenu des fractions éventuellement recyclées deux, trois voire quatre fois et de la nature des aliments, le transit digestif du lapin dure 18 à 30 heures environ, 20 heures en moyenne.

La composition des coecotrophes est constituée par les résidus alimentaires non totalement dégradés, les restes des sécrétions du tube digestif et les corps bactériens (tableau I). Ces derniers représentent un apport appréciable de protéines de bonnes valeurs biologiques ainsi que les vitamines hydrosolubles (PARIGIBINI, 1986). La pratique de la coecotrophie représente donc pour le lapin un intérêt nutritionnel non négligeable.

**Tableau I :** Composition des fèces dures et coecotrophes du lapin domestique selon HENNING et HIRD cités par NATALYS (1972).

| Constituants        | Unités     | Fèces dures         | Coeco-trophes      | Contenu caecal       |
|---------------------|------------|---------------------|--------------------|----------------------|
| Protéines           | g/100 g de | 14,8                | 37,8               | 36,4                 |
| Graisses            | matière    | 1,8                 | 1,5                | 1,8                  |
| Cellulose brute     | sèche      | 28,8                | 14,3               | 13,4                 |
| cendres             |            | 14,8                | 14,3               | 15,4                 |
| Acide nicotinique   | µg/g de    | 39,7                | 139,1              | -                    |
| Riboflavine         | matière    | 9,4                 | 30,2               | -                    |
| Acide pantothénique | fraîche    | 8,4                 | 51,6               | -                    |
| Vitamine B12        |            | 0,89                | 2,92               | -                    |
| Bactéries           |            | $3,0 \cdot 10^{11}$ | $14 \cdot 10^{11}$ | $14,5 \cdot 10^{11}$ |

### 1.2.2 - Mécanisme de la coecotrophie

La coecotrophie, acte physiologique qui consiste à l'ingestion des coecotrophes (NATALYS, 1972) est un comportement alimentaire caractéristique du lapin.

A leur expulsion, les coecotrophes se présentent sous forme de grappes de 5 à 10 petites boules enveloppées dans une pellicule de mucus. Ils proviennent de la transformation du résidu cellulosique de la digestion du bol alimentaire par la microflore du caecum. Elles se trouvent par ce fait enrichies en éléments synthétisés par les bactéries en particulier les acides aminés, les vitamines du complexe B (MEGARD, 1970) ainsi que de l'eau (tableau II). En effet les auteurs sont unanimes de constater un amaigrissement quand les animaux n'ont pas la possibilité de réingérer leurs coecotrophes (MEGARD, 1970).

**Tableau II : Comparaison des teneurs en eau et en protéines des deux types de fèces de lapin (HOONELBECKE, 1977).**

|              | Eau P.100 | Protéines P.100 |
|--------------|-----------|-----------------|
| Fèces        | 30        | 10              |
| Coecotrophes | 70-80     | 30              |

Certains auteurs pensent que les lapereaux commencent à pratiquer la coecotrophie dès le nid pendant l'allaitement en ingérant les coecotrophes de leur mère et vers l'âge de 2 à 3 semaines en ingérant leur propres coecotrophes.

Dans les conditions naturelles, c'est pendant les heures de tranquillité que sont excrétées et réingérées les fèces molles. Elles sont excrétées à n'importe quel moment de la journée en général 8 à 12 heures alors que l'émission des fèces dures se produit en général 2 à 8 h après le repas. Signalons qu'entre les fèces dures et les fèces molles on peut remarquer un type de fèces intermédiaires.

### 1.2.3 - **Conséquences de la coecotrophie : étude du coefficient de digestibilité apparente chez le lapin**

L'existence de deux sortes de crottes soulève quelques problèmes quant à l'étude et l'interprétation de la digestibilité apparente chez le lapin.

Ainsi à partir de la formule générale donnant le coefficient de digestibilité apparente :  $\text{Ingesta-excreta}$ , valable pour toutes les espèces animales, PROTO cité par MEGARD (1970) propose quatre formules qu'il est possible d'appliquer au lapin.

Première formule : lapin pratiquant la coecotrophie.

Aliment - fèces dures

$$\text{C.U.D.} = \frac{\text{Aliment - fèces dures}}{\text{Aliment}} \times 100$$

Deuxième formule : Lapin ne pratiquant pas la coecotrophie.

Aliment - fèces dures

$$\text{C.U.D.} = \frac{\text{Aliment} - \text{fèces dures}}{\text{Aliment}} \times 100$$

ECOLE INTER-ETATS  
DES SCIENCES ET MÉDECINE  
VÉTÉRINAIRES DE DAKAR  
BIBLIOTHEQUE

Troisième formule : Lapin ne pratiquant pas de coecotrophie fèces molles considérées comme excreta.

Aliment - (fèces dures + fèces molles)

$$\text{C.U.D.} = \frac{\text{Aliment} - (\text{fèces dures} + \text{fèces molles})}{\text{Aliment}} \times 100$$

Quatrième formule : Lapin pratiquant la coecotrophie fèces molles considérées comme ingesta.

(Aliment + fèces molles) - fèces dures

$$\text{C.U.D.} = \frac{(\text{Aliment} + \text{fèces molles}) - \text{fèces dures}}{(\text{Aliment} + \text{fèces molles})} \times 100$$

La première formule est toujours valable, c'est celle qu'appliquerait n'importe qui sur un animal dont on ignore qu'il réingère une partie de ses fèces. Elle considère le phénomène digestif de façon globale.

Pour la deuxième formule, si l'animal ne réingère pas ses coecotrophes, il se trouve placé dans les conditions physiologiques anormales. Les coecotrophes doivent être considérées comme les excreta et nous tombons dans la troisième formule. Nous obtenons alors un coefficient de digestibilité apparente pour un seul et unique transit de l'aliment alors que la première formule nous donnait le coefficient pour les deux transits digestifs de l'aliment soit pour deux digestions de notre aliment.

Quant à la quatrième formule, elle est difficilement applicable en théorie, d'abord parce que les coecotrophes peuvent difficilement être considérées comme aliments et en pratique il n'est pas très aisé de récupérer les coecotrophes, de les peser et de les faire réingérer au lapin par la suite.

Ainsi seules peuvent être retenues la première formule à condition que le lapin pratique la coecotrophie et la troisième formule quand il ne la pratique pas.

PROTO a donné les coefficients calculés pour une même substance avec les différentes formules. De la première à la quatrième formule, on a respectivement les pourcentages suivants : 46,1 ; 54,4 ; 40,4 et 52,6 p.100.

En comparant les deux valeurs (46,1 et 40,4) pour la première et la troisième formule nous remarquons que la coecotrophie est un phénomène biologiquement rentable pour l'animal.

## **CHAPITRE 2 : GENERALITES SUR LE METABOLISME PHOSPHOCALCIQUE**

Le métabolisme du calcium et celui du phosphore sont étroitement liés. Les voies métaboliques de ces minéraux ont été étudiées chez le lapin en croissance (DELAVENNE, 1985).

### **2.1 - LES APPORTS DE MINERAUX**

#### **2.1.1 - Notion de besoins**

Pour définir l'apport d'un minéral dans une ration, il faut d'abord rappeler que :

- des différentes fonctions biologiques peuvent chez un même animal requérir des apports différents ;
- l'optimum économique d'une production peut ne pas correspondre à l'optimisation d'un critère technique et toute recommandation doit avant tout tenir compte du niveau de production des animaux ; elle doit également intégrer un grand nombre de facteurs externes à l'animal comme la complémentation éventuelle du minéral dans la source utilisée, les interactions entre nutriments, le niveau énergétique des aliments, la température ambiante etc.

Ces facteurs justifient l'existence d'une marge de sécurité entre les besoins déterminés en station et les recommandations pratiques.

Les études de besoins en calcium et en phosphore des lapins en croissance ont permis de démontrer que les exigences de ces animaux sont nettement inférieures à celles des lapines allaitantes (LEBAS et coll. 1984).

### 2.1.2 - Détermination des besoins en minéraux

Deux approches complémentaires peuvent être utilisées pour déterminer les besoins en un élément minéral. Elles seront illustrées ici par les cas du calcium et du phosphore qui sont de loin les plus importants.

La première approche qu'on peut qualifier de "globale" consiste à distribuer à des animaux des aliments renfermant des doses croissantes de l'élément et mesurer les différentes caractéristiques zootechniques telles que :

- la vitesse de croissance, l'indice de consommation, la fréquence des troubles locomoteurs etc. chez un animal en croissance ;
- le poids et la taille des portées, le nombre et le poids d'oeufs, la production laitière etc... chez les femelles adultes.

On choisira alors l'apport optimisant le paramètre jugé le plus important voire intéressant si tous ne le sont pas simultanément. Cette approche est celle généralement retenue pour les volailles.

La deuxième dite "factorielle" repose sur l'évaluation des besoins nets liés à chaque fonction physiologique (entretien, croissance, gestation, lactation etc.) et sur l'application à leur somme d'un facteur d'utilisation digestive tenant compte de l'absorption intestinale réelle.

La détermination de ces coefficients d'utilisation digestive réelle (C.U. Dr) exige deux conditions :

- pouvoir séparer les fèces de l'urine ce qui est impossible chez les volailles;
- pouvoir apprécier l'excrétion endogène fécale.

Il s'agit donc, en pratique, d'une mesure réservée aux mammifères et réalisable au seul niveau du laboratoire.

Outre les difficultés purement techniques, il existe d'autres critères qui guident le choix entre les deux approches d'estimation des besoins. Il est ainsi facile d'estimer l'exportation de calcium que réalise une femelle dans sa portée, son lait ou les coquilles de ses oeufs et d'utiliser en conséquence une approche factorielle.

A l'opposé, le besoin net des minéraux pour la croissance est plus difficile à définir car on ignore quelle doit être la composition optimale du croît.

On doit souligner aussi que chez un même animal, les C.U.Dr peuvent varier dans le temps. C'est ainsi que chez le porc le C.U.Dr du calcium chute de 70 à 55 p.100 lorsqu'il passe de 10 à 55 kg de poids vif alors que chez la poule pondeuse l'absorption intestinale du calcium passe chaque jour de 40 à 70 p.100 lorsque débute la formation de la coquille de l'oeuf.

Il importe donc de ne pas extrapoler une valeur de C.U.Dr au-delà des limites fixées par les conditions même de la mesure (I.N.R.A, 1989).

### **2.1.3 - Source de phosphore et de calcium**

#### **2.1.3.1 - Le phosphore**

Le phosphore trouvé dans l'organisme animal provient de l'alimentation. Sa teneur dans les végétaux est variable selon l'espèce végétale, l'âge de la plante et de son stade végétatif. Elle varie également en fonction de la nature du sol.

Les céréales sont moyennement riches en phosphore, leurs issues (son, farine basse etc.) en sont bien pourvus (plus de 1 p.100 de MS) bien que ce phosphore ne soit pas facilement disponible (tableau III). Les tubercules en sont déficientes, par contre les produits animaux, terrestres et aquatiques constituent d'excellentes sources aussi bien du phosphore que du calcium notamment les farines de viande, poudre d'os, farine de poisson ainsi que le lait (tableau IV).

**Tableau III :** Teneur en phosphore phytique de certaines matières premières en alimentation animale (POINTILLART, 1994).

|                    | Phosphore<br>phytique g/kg | Phosphore phytique<br>/phosphore total P.100 |
|--------------------|----------------------------|--|
| Blé                | 1,7-2,5                    | 60-77  |
| Mais               | 1,7-2,2                    | 66-85  |
| Orge               | 1,9-2,5                    | 51-66  |
| Sorgho             | 1,8-2,2                    | 60-74  |
| Poids              | 1,2-1,7                    | 40-50  |
| Son de blé         | 8,1-9,7                    | 70-90  |
| Remoulage de blé   | 4,7-5,8                    | 66-85  |
| Tourteaux : - Soja | 3,2-3,8                    | 51-61  |
| - Arachide         | 3,2-4,3                    | 47-69  |
| - Coton            | 7,0-9,2                    | 70   |
| - Tournesol        | 6,2-9,2                    | 73-80  |
| - Colza            | 6,0-7,3                    | 60-63  |

**Tableau IV** : Relation entre teneur en phosphore et calcium des farines animales (I.N.R.A., 1989).

|                   | Phosphore en<br>P.100 de MS | Calcium en<br>P.100 de MS | Ca/P |
|-------------------|-----------------------------|---------------------------|------|
| Farine de viande  | 0,78                        | 1,08                      | 1,38 |
| Farine de poisson | 0,66                        | 0,86                      | 1,30 |

A côté de ce phosphore organique, une autre source est représentée par les phosphates inorganiques apportés par la supplémentation sous forme de :

- phosphate monocalcique ;
- phosphate bicalcique ;
- phosphate tricalcique ;
- etc.

C'est cette dernière source qui est souvent de recours pour couvrir les besoins des animaux. Ces sources de P sont relativement nombreuses et variées (Tableaux V et VI).

**Tableau V :** Caractéristiques des sources hydrosolubles de phosphore en P.100 de produit brut (PARIGIBINI, 1986).

| Sources de phosphore                 | Phosphore total | Calcium |
|--------------------------------------|-----------------|---------|
| Acide phosphorique                   | 24-28           | -       |
| Phosphate monodisodique<br>dihydraté | 19,8            | -       |
| anhydre                              | 25              | -       |
| Phosphate monoammonique              | 26,7            | -       |
| Phosphate diammonique                | 23,2            | -       |
| Triphosphate de sodium               | 24,7            | -       |
| Phosphate monocalcique hydraté       | 21-24           | 17-20   |

**Tableau VI : Caractéristiques des sources non hydrosolubles de phosphore en P.100 de produit brut (PARIGIBINI, 1986).**

| Sources de phosphore              | Phosphore total | Calcium |
|-----------------------------------|-----------------|---------|
| Phosphate bicalcique<br>dihydraté | 17,5-19         | 23-26   |
| anhydre                           | 21              | 28      |
| Phosphate monobicalcique          | 20              | 18-21   |
| phosphate tricalcique             | 19,5            | 37      |
| Phosphate de roche<br>naturels    | 13-18           | 28-39   |
| défluorés                         | 32              | 32      |
| Farine d'os<br>non traitée        | 11,2            | 23,5    |
| dégélatinée                       | 14,1            | 30,7    |
| Phosphate Ca - Mg - Na            | 17,3            | 9,5     |

### 2.1.3.2 - Le calcium

Les phosphates de calcium et les carbonates de calcium sont couramment utilisés comme source de calcium en alimentation animale. La disponibilité du Ca dans les calcaires est élevée, le plus souvent comprise entre 95 et 100 p.100 mais elle peut quelquefois descendre en dessous de 90 p.100.

## 2.2 - ABSORPTION DIGESTIVE DE CALCIUM ET DE PHOSPHORE

L'absorption digestive définit le passage de la cavité du tube digestif des produits utilisables résultant de la digestion dans le sang et la lymphe.

Ce passage s'effectue à travers la muqueuse digestive sous laquelle se trouvent les vaisseaux sanguins et lymphatiques. Le calcium et le phosphore passent directement dans la circulation sanguine d'où l'organisme va les puiser pour les utiliser en fonction de ses besoins.

L'absorption se fait sous forme d'ions et pour le phosphore seul l'ion orthophosphate est le seul absorbable. Le principal lieu d'absorption du phosphore est l'intestin grêle, mais une bonne partie est absorbée au niveau de l'estomac.

Le transport du phosphore à travers la muqueuse intestinale est lié à la présence de l'ion calcium. Le taux d'absorption dépend non seulement des besoins de l'animal, mais aussi de la biodisponibilité du minéral.

L'absorption du calcium par le lapin en croissance est toujours élevée, les coefficients d'utilisation digestive réelle varient selon les auteurs de 41 à 97 p 100, d'autre part le lapin en croissance possède une grande tolérance aux apports calciques élevés (jusqu'à 40 g de calcium par kg d'aliment). (DELAVENNE, 1985). Ceci est en accord avec les observations de BESANCON (1971) qui dit qu'il n'existe pas de régulation de l'absorption intestinale du calcium chez le lapin.

Quant à l'absorption du phosphore, le coefficient d'utilisation digestive réelle est de 42 p.100.

TRUELLE, cité par DELAVENNE (1985) a montré que la présence des lipides dans la ration favorise l'absorption du phosphore et semble ne pas avoir d'effet sur l'absorption du calcium.

La teneur en phosphore de l'aliment ne modifie pratiquement pas le taux d'absorption du phosphore qui se maintient aux environs de 60 p 100 mais modifie sensiblement l'absorption du calcium de 83 à 19 p.100.

Un apport élevé en calcium s'accompagne d'une diminution du taux d'absorption du phosphore (71 à 60,2 p.100) mais cette diminution est faible comparée à l'augmentation importante du taux d'absorption du calcium (45,5 à 78,6 p.100).

Il semble donc que, chez le lapin, le taux de phosphore de la ration soit un facteur limitant du taux d'absorption des deux minéraux de façon plus efficace que le taux de calcium.

## 2.3 - DISTRIBUTION DE PHOSPHORE ET DE CALCIUM DANS L'ORGANISME

### 2.3.1 - Le phosphore

#### 2.3.1.1 - Distribution dans le sang

Une bonne partie du phosphore absorbé va rester dans la circulation sanguine, elle représente la portion plasmatique et détermine la phosphatémie qui est une des principaux paramètres biochimiques du sang (tableau VII).

Dans le sang, le phosphore se présente sous deux formes : le phosphore organique et le phosphore inorganique.

a) Le phosphore organique : il est prédominant à l'intérieur des globules rouges. Ce phosphore est représenté par les molécules de grand intérêt biologique : acides nucléiques et nucléotides, phospholipides etc. 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) que 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.

b) Le phosphore inorganique ; c'est habituellement le phosphore qui est dosé dans le sérum ; son taux sanguin est moins fixe que la calcémie.

La concentration en phosphates du sérum est toujours plus élevée chez le jeune que chez l'adulte.

Les principales formes de phosphore inorganique sont  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  et  $\text{NaHPO}_4^-$  auxquelles s'ajoute le phosphore lié aux autres minéraux et aux protéines.

### 2.3.1.2 - Le phosphore osseux

Dans l'organisme, une grande partie du phosphore digéré va se retrouver au niveau du squelette (et les dents). Il contribue avec d'autres minéraux dont le calcium à la minéralisation osseuse, phénomène qui confère au squelette sa consistance et sa résistance.

### 2.3.1.3 - Autres localisations

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).

## 2.3.2 - Le calcium

### 2.3.2.1 - Distribution dans le sang et le secteur extracellulaire

La calcémie est une constante physiologique fixe chez un même animal, elle est très étroitement contrôlée par différents facteurs vitaminiques et hormonaux, ses limites de variation sont ainsi très faibles.

Le calcium plasmatique se trouve sous trois formes (WOLTER, 1974) :

a) Le calcium non diffusible : surtout lié à l'albumine. Ce calcium ne peut pas traverser les capillaires, il s'agit du calcium non ionisé et physiologiquement inactif.

b) Le calcium combiné sous forme de complexes citratés, carbonatés ou phosphatés. Il n'a pas de rôle physiologique.

c) Le calcium ionisé : il représente environ 60 p.100 du calcium total. Son taux sanguin dépend de l'équilibre acido-basique.

C'est ainsi que l'acidose augmente le calcium ionisé par libération du calcium lié aux protéines. C'est ce calcium qui intervient dans les mécanismes fonctionnels de l'organisme.

A côté de ces trois formes, il existe le calcium extracellulaire non plasmatique qui se trouve dans les espaces interstitiels principalement sous forme ionisée.

### 2.3.2.2 - Le calcium osseux

Le squelette est le principal lieu de localisation du calcium. Ce dernier constitue avec d'autres minéraux notamment le phosphore à l'édification de l'os.

En effet, 99 p.100 du calcium total de l'organisme se trouvent localisés au niveau du squelette.

Tableau VII : Intervalles de variation des valeurs de quelques paramètres biochimiques sanguins du lapin (DELAVENNE, 1985).

|           | Valeurs extrêmes mmol/l |
|-----------|-------------------------|
| Calcium   | 2,50-3,98               |
| Phosphore | 1,16-2,00               |
| Potassium | 3,64-6,40               |

### 2.3.3 - La rétention de phosphore et de calcium

Selon BESANCON et LEBAS (1969), la rétention calcique chez le lapin en croissance est faible, le coefficient de rétention exprimé en pourcentage de l'absorbé est égal à 27,6 p.100.

Quant au phosphore, TRUDELLE cité par DELAVENNE (1985) a indiqué que son coefficient de rétention est égal à 60 p.100 de l'ingéré.

En définitive, l'absorption digestive du phosphore est plus faible que celle du calcium mais sa rétention est plus élevée.

## **2.4 - Les pertes de phosphore et de calcium**

### **2.4.1 - Pertes par les fèces**

La voie fécale est la principale voie d'élimination du calcium et du phosphore (tableau VIII).

Le calcium fécal a deux origines : le calcium alimentaire non absorbé (calcium exogène) et le calcium endogène provenant du métabolisme.

En effet, chez un animal soumis à un régime dépourvu de calcium il y a toujours excrétion de calcium dans les fèces (COULIBALY, 1992).

**Tableau VIII :** Quantités moyennes émises et composition de déjections produites par différentes catégories de lapins selon LEBAS cité par LEBAS et coll. (1984).

| Origine des déjections  | Poids produits par jour (g) | Teneur par produits frais P.100 |         |         |         |
|-------------------------|-----------------------------|---------------------------------|---------|---------|---------|
|                         |                             | P2O5                            | CaO     | K2O     | N       |
| <b><u>CROTTES</u></b>   |                             |                                 |         |         |         |
| Jeunes en engraissement | 40-50                       | 2-5                             | 0,4-1,5 | 0,5     | 1,5-1,7 |
| Lapine allaitante       | 150-200                     | 5-7                             | 2,0-3   | 1,0-1,5 | 1,2-1,5 |
| Adulte au repos         | 70-80                       | 2-4                             | 0,4-0,5 | 0,5     | 1,2-1,5 |
| <b><u>URINE</u></b>     |                             |                                 |         |         |         |
| Jeunes en engraissement | 80-110                      | 0,05                            | 0,4-0,6 | 0,8-1,5 | 1,0-1,3 |
| Lapine allaitante       | 250-300                     | 0,02                            | 1,15    | 0,7-0,8 | 1,0-1,3 |
| Adulte au repos         | 1000                        | 0,08                            | 0,6-0,7 | 0,9-1,2 | 1,0-1,3 |

#### 2.4.2 - Pertes par les urines

##### 2.4.2.1 - Le calcium

L'élimination urinaire du calcium dépend de plusieurs facteurs :

- a) La filtration glomérulaire, qui détermine la quantité de calcium qui passe dans les urines. Seul le calcium diffusible du sérum est concerné ; le calcium lié aux albumines reste dans les espaces vasculaires.

b) La réabsorption tubulaire. Elle est appréciée en déterminant par minute la différence entre la quantité de calcium filtrée et la quantité de calcium excrétée dans les urines.

La calciurie est influencée par plusieurs facteurs notamment :

- le régime alimentaire par le taux de calcium absorbé par l'intestin surtout le cas d'une hyperabsorption qui conduit à une hypercalcémie. Par contre, un régime sans calcium ne supprime pas la calciurie, mais l'abaisse de façon discrète ;
- la calcémie : elle influence la calciurie dans la mesure où c'est le calcium ultrafiltrable qui est intéressé ;
- les hormones : la parathormone augmente la réabsorption tubulaire du calcium. On aura une hypercalcémie et par conséquent une hypercalciurie. La calcitonine augmente la calciurie en diminuant la réabsorption tubulaire.

#### 2.4.2.2 - Le phosphore

L'excrétion urinaire des phosphates est déterminée par la filtration glomérulaire et la réabsorption au niveau des parties proximales des tubules.

Les phosphates urinaires sont essentiellement éliminés sous forme de  $H_2PO_4^-$ .

Les mécanismes de filtration et de réabsorption du phosphore sont sous la dépendance non seulement de la quantité de phosphore du régime alimentaire, mais aussi de l'action directe de l'hormone parathyroïdienne qui diminue la réabsorption et provoque une hyperphosphaturie.

#### 2.4.3 - Pertes par les productions

##### 2.4.3.1 - Exportation dans le lait

L'étude de la composition minérale du lait sur les lapines de race californienne recevant un régime standard concentré contenant 1,7 p.100 de calcium et 1,1 p.100 de phosphore dans la matière sèche a montré que le lait de lapine est très riche en minéraux totaux (2,3 p.100 du lait frais) (LEBAS et coll., 1971). Parmi ces minéraux, le calcium

occupe une grande proportion pondérale (3 à 7 mg/g de lait) ; puis le phosphore 2 à 4 mg/g de lait à côté desquels vient le potassium avec 2 mg/g de lait.

Les teneurs en calcium et en phosphore du lait frais sont en augmentation régulière au cours des 25 premiers jours de la lactation. La teneur en calcium est multipliée par 2,4 contre 1,7 pour la teneur en phosphore (figure 2).

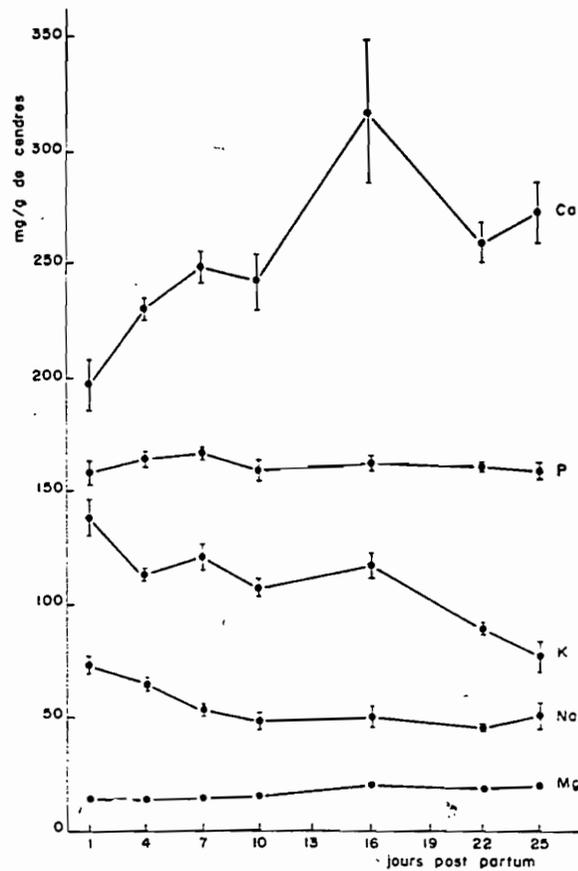


Figure 2: Evolution de la ~~composition~~  
 Composition minérale des cendres  
 du lait de lapine en fonction  
 du stade de lactation (LEBAS  
 et coll. 1971).

Pendant la phase de production laitière maximale c'est-à-dire entre 15 et 22 jours, une lapine exporte quotidiennement plus de 1 g de calcium et 0,6 à 0,7 g de phosphore.

La comparaison de la composition minérale du lait des différentes espèces animales (tableau IX) fait apparaître de façon marquante la très forte teneur en éléments minéraux du lait de lapine exprimée tant par rapport aux lait frais que par rapport à la matière sèche.

**Tableau IX** : Comparaison de la teneur en phosphore et en calcium des laits des principaux mammifères (mg/l) (GUEGUEN, 1971).

|           | Cendres | Calcium | Phosphore | Ca/P |
|-----------|---------|---------|-----------|------|
| Femme     | 2300    | 320     | 160       | 2,00 |
| Jument    | 4000    | 1000    | 600       | 1,66 |
| Vache     | 7200    | 1250    | 950       | 1,31 |
| Eléphante | 7300    | 1320    | 840       | 1,57 |
| Chèvre    | 7800    | 1800    | 1300      | 1,38 |
| Brebis    | 8700    | 1900    | 1500      | 1,26 |
| Truie     | 9400    | 2200    | 1550      | 1,42 |
| Lapine    | 20000   | 5000    | 350       | 1,43 |

Lorsqu'on exprime les matières minérales du lait, non plus en p.100 mais en mg exportées chaque jour par kg de poids vif - mode d'expression qui permet de comparer plusieurs espèces entre elles - on constate que la lapine doit exporter par unité de poids vif de 2 à 4 fois plus d'éléments minéraux que la truie et la vache (tableau X) ; ceci laisse supposer un métabolisme minéral intense chez la lapine en lactation et une plus forte sollicitation des réserves de l'organisme.

Il est donc permis de supposer que l'utilisation digestive et métabolique du calcium et du phosphore en particulier se fait avec un bon rendement chez la lapine en lactation car, d'une part, on sait que chez toutes les espèces animales la femelle allaitante a tendance à utiliser mieux les nutriments qui lui sont fournis, d'autre part, on sait également que la lapine a en général les aptitudes à absorber particulièrement bien le calcium et le phosphore de la ration (BESANCON et LEBAS, 1970).

**Tableau X :** Exportation minérale dans le lait pour trois espèces domestiques (LEBAS et coll., (1971).

| Espèce | Poids vif<br>(kg) | Eléments minéraux mg/kg<br>de poids vif |     |    |
|--------|-------------------|---|-----|----|
|        |                   | Ca                                      | P   | K  |
| Lapine | 4                 | 200                                     | 125 | 87 |
| Truie  | 200               | 81                                      | 48  | 30 |
| Vache  | 600               | 42                                      | 32  | 46 |

Malgré cette exportation élevée, la lapine ne possède que très peu de réserves comparativement à la demande (LEBAS et coll., 1984). En effet l'exportation des minéraux peut atteindre en 25 jours la moitié des réserves totales de l'organisme tant pour le calcium que pour le phosphore. Cependant l'apport minéral alimentaire n'a montré aucune influence sur les teneurs en calcium et en phosphore du lait. Si cet apport est insuffisant l'animal fait appel à ses réserves osseuses.

Il est important de signaler que les matières minérales ne représentent qu'une fraction du lait relativement faible variant selon les espèces de 0,2 à 2 p.100 par rapport à la matière sèche du lait, la proportion des cendres varie en moyenne de 2 à 6 p.100 et ces cendres contiennent tous les éléments minéraux indispensables à l'organisme.

La somme des macroéléments représente 80 p.100 des cendres du lait dont 3 p.100 pour le calcium et le phosphore.

#### **2.4.3.2 - Exportations vers le foetus**

Pour se développer le foetus tire ses nutriments du sang maternel. C'est pour cela que, en plus des besoins d'entretien de la femelle gestante, les apports en calcium et en phosphore doivent être augmentés pour couvrir les besoins d'édification du squelette foetal.

Généralement les besoins de production ne sont pas couverts par les apports alimentaires et l'animal fait souvent appel à ses réserves osseuses ; ces réserves devront alors être reconstituées ultérieurement. Les échanges entre le sang et le squelette permettent ainsi de régulariser les apports et leurs utilisations. L'importance des réserves, les échanges permanents entre le squelette et le sang indiquent :

- que l'apport de calcium et de phosphore doit être régulier pour maintenir un niveau de réserves suffisant,
- qu'en cas d'apports insuffisants, il n'y a pas d'altération immédiate des performances, l'animal utilisant ses réserves et qu'inversement, un apport même important à un animal ayant épuisé ses réserves ne permet pas d'obtenir rapidement un résultat positif ; la reconstitution est progressive et lente.

#### **2.4.4 - Autres voies d'élimination**

L'élimination par la sueur est possible mais faible chez le lapin ; elle est surtout importante chez le cheval.

La salive assure également une certaine excrétion de phosphore.

## 2.5 - LA REGULATION DU METABOLISME PHOSPHOCALCIQUE

Le métabolisme phosphocalcique forme un tout dont le rôle est essentiellement de maintenir l'homéostasie du calcium et du phosphore.

Cette homéostasie se fait par l'intermédiaire de trois hormones : la vitamine D, la parathormone et la calcitonine.

### 2.5.1 - Hormones du métabolisme phosphocalcique

#### 2.5.1.1 - La vitamine D

C'est la plus importante des trois hormones. C'est une véritable hormone puisqu'il s'agit d'une substance produite dans l'organisme. Certes, elle est apportée par l'alimentation notamment par les graines, ou bien synthétisée au niveau de la peau sous l'influence des radiations ultraviolettes. Cependant, pour être active cette vitamine doit être transformée sous sa forme active (1,25 dihydroxycholécalférol) qui est considéré comme la véritable hormone.

Cette transformation se fait d'abord dans le foie pour donner le 25 hydroxycholécalférol puis dans le rein pour donner le 1,25 dihydroxycholecalciférol.

Les vitamines D alimentaires sont absorbées par le duodénum et le jéjunum. Dans ce mécanisme la présence des sels biliaires et des lécithines paraît indispensable. Elle permet ainsi leur passage dans le système circulatoire par l'intermédiaire des chylomicrons.

La vitamine D<sub>3</sub> synthétisée par la peau rejoint le sang grâce à la microcirculation sous-cutanée.

Dans le sérum sanguin, la vitamine D, composé apolaire est transportée par une protéine spécifique, une globuline d'un poids moléculaire compris entre 50 et 60 000 daltons. Cette protéine vectrice la transporte soit à ses lieux d'action soit à ses sites de stockage essentiellement le tissu adipeux et les muscles squelettiques.

Le défaut d'apport en vitamine D détermine deux troubles carenciels : le rachitisme chez le jeune et l'ostéomalacie chez l'adulte.

Chez les sujets carencés en vitamine D, mais normaux sur les plans hépatique et rénal, l'administration par voie buccale ou parentérale de la vitamine D se traduit par un rétablissement de la calcémie (voisine de 4,5 à 5,5 méq/l dans la plupart des espèces) qui résulte de 2 processus :

- augmentation de l'absorption intestinale de calcium,
- mobilisation du calcium à partir de l'os.

La synthèse de la vitamine D est accélérée par la parathormone et par une baisse de la calcémie et de la phosphatémie.

### 2.5.1.2 - La parathormone

Elle provient des cellules principales de la parathyroïde. C'est une chaîne peptidique simple possédant une activité caractéristique sur l'os, le rein et le tube digestif. C'est une hormone du capital calcique ; sa sécrétion par les glandes parathyroïdes est stimulée par la chute du taux de calcium plasmatique. Elle sert donc à élever la calcémie en agissant sur les récepteurs particuliers ; sa sécrétion est stimulée par une calcémie faible.

### 2.5.1.3 - La calcitonine

Elle est élaborée par les cellules "C" parafolliculaires de la thyroïde, groupées en amas entre les follicules.

C'est un polypeptide de 43 acides aminés. C'est une hormone hypocalcémiant apparentement antagoniste de l'hormone parathyroïdienne. Elle a un rôle relativement moins important dans la mesure où son action hypocalcémiant ne se manifeste que sur les animaux jeunes alors que chez l'adulte cette action n'a pas lieu. Néanmoins son rôle n'est pas négligeable puisqu'en produisant une hypocalcémie, elle empêche la destruction de l'os.

A côté de ces principales hormones, d'autres hormones annexes ont une influence sur le métabolisme phosphocalcique. Cependant leur participation directe à un système de régulation n'est pas établie.

Il s'agit de l'hormone somatotrope, les hormones thyroïdiennes, les oestrogènes, les androgènes, la cortisone.

### 2.5.2 - Récepteurs - contrôle - régulation

Les trois principales hormones qui contrôlent l'homéostasie phosphocalcique agissent sur trois récepteurs privilégiés à savoir le tube digestif, le rein et l'os.

#### 2.5.2.1 - Le tube digestif

C'est la porte d'entrée du calcium et du phosphore dans l'organisme. Dans l'intestin 50 p.100 du calcium ingéré est absorbé, cette absorption se fait de deux manières (AUBRY, 1975).

- Absorption active : elle se fait au niveau de la première partie de l'intestin grêle ce qui représente environ 2/3 du calcium absorbé. C'est à ce niveau qu'interviennent les différents facteurs de régulation.

- Absorption passive : elle se fait le long de l'iléon ce qui correspond environ à 1/3 du calcium absorbé. Au calcium alimentaire non absorbé va s'ajouter le calcium provenant de la résorption osseuse puis secrété par le tube digestif (calcium endogène) que l'on retrouve dans les matières fécales.

Le rôle du tube digestif est donc primordial c'est par lui que ces minéraux entrent et c'est là où se fait leur absorption.

a) Action du 1,25 dihydroxycholécalférol : Il facilite l'absorption intestinale du calcium en induisant les mécanismes d'information génétique permettant la formation (synthèse) de protéines complexant le calcium et facilitant son transport actif.

La vitamine D agit en fin sur le pH du contenu intestinal ; elle l'abaisse alors qu'il est plus élevé chez les animaux carencés. Ce pH joue un rôle dans l'absorption du calcium et surtout du phosphore (FERRANDO, 1964).

b) Action de la parathormone : En présence de la vitamine D, elle augmente l'absorption du calcium et du phosphore et de ce fait contribue à élever la calcémie.

c) Action de la calcitonine : l'expérience a montré que quand la calcitonine est donnée à de hautes proportions, elle s'oppose à l'absorption intestinale du calcium (HIOCO, 1975).

La calcitonine est une hormone hypocalcémiante et hypophosphatémiante.

#### 2.5.2.2 - Le rein

Deuxième récepteur, le rôle du rein dans le métabolisme phosphocalcique est double.

En effet, il agit en tant qu'élaborateur du 1,25 dihydroxycholécalférol, mais c'est surtout par lui qu'est éliminée une bonne partie du calcium.

Trois mécanismes, interviennent dans la fonction rénale : - la filtration glomérulaire,

- la réabsorption tubulaire,
- la sécrétion tubulaire.

a) Action du 1,25 dihydroxycholécalférol : il a un rôle assez complexe puisqu'elle augmente la clearance du calcium et la calciurie. Cependant, une surcharge en vitamine D peut être nocive dans la mesure où elle prive l'animal d'une certaine quantité de calcium. La vitamine D diminue la clearance du phosphore.

En diminuant cette clearance de phosphore, le 1,25 dihydrocholécalférol tend à élever la phosphatémie.

b) Action de la parathormone : elle a une action inverse de celle de la vitamine D parce qu'elle diminue la clearance du calcium et par conséquent tend à diminuer la calciurie alors qu'elle augmente la clearance du phosphore tendant ainsi à diminuer la phosphatémie.

c) Action de la calcitonine : elle agit comme la vitamine D en ce qui concerne la clearance du calcium et en sens inverse pour la clearance du phosphore. Ces deux hormones ne sont donc pas antagonistes, selon HIOCO (1975), elles n'agissent pas tout à fait sur les mêmes récepteurs.

### 2.5.2.3 - Le tissu osseux

Troisième élément récepteur, le tissu osseux est un tissu dur et résistant. Cependant il n'est pas inerte car il fait l'objet chez l'animal d'un continuel remaniement. L'activité métabolique de l'os comprend un processus anabolique et un processus catabolique. Ainsi chez l'animal adulte l'os est détruit puis remplacé par une quantité équivalente de l'os néoformé tandis qu'en période de croissance il doit se former plus d'os qu'il n'en est détruit.

L'os est essentiellement formé d'une trame organique de tissu mou ou tissu ostéoïde constitué par du collagène donnant à l'os sa souplesse.

Sur cette trame organique est déposée une nappe minérale constituée essentiellement de dépôts de phosphate de calcium et de phosphates tricalciques hydratés. Ces dépôts sont soit cristallins, dans le cas de l'os adulte sous forme de cristaux d'hydroxyapatite soit amorphe chez le sujet jeune qui, ensuite le transforme en cristallin.

- La phase anabolique : comprend la formation de la matrice protéique puis sa minéralisation. Cette ostéoformation est effectuée par les ostéoblastes, cellules provenant de la moelle osseuse et du périoste.

Leur fonction est double :

- synthèse du collagène
- déclenchement de la minéralisation du tissu osseux.

- La phase catabolique : constituée par deux types cellules

\*les ostéoclastes : ce sont de grosses cellules nucléées contenant les enzymes collagénolytiques mais également capables de dissoudre les précipités de calcium, détruisant donc le tissu osseux surtout à la surface des travées osseuses,

\* les ostéocytes : ils jouent également un rôle important dans la résorption osseuse.

Ce sont en fait d'anciens ostéoblastes ayant fini leur travail de constitution. Ils détruisent de façon très lente l'os autour de leur cavité mais ils ont gardé en plus leur potentialité d'ostéoformation.

Ce sont ces cellules qui jouent un rôle primordial de la régulation (AUBRY, 1975).

Cette activité osseuse est également contrôlée par les mêmes hormones.

a) Le 1,25 dihydroxycholécalférol ; en l'absence de la vitamine D l'ostéoblaste est incapable de se minéraliser ; il se forme alors un tissu qui ne se calcifie pas.

Les besoins en vitamine D sont particulièrement élevés chez les jeunes en croissance, car le processus de calcification nécessite l'apport de grandes quantités de calcium et de phosphore.

Cependant un apport de grandes quantités de vitamine D (à partir de 2300 UI/Kg) entraîne une calcification rénale et aortique chez le lapin, le seuil de 2000 UI/kg ne devrait jamais être dépassé (HIOCO, 1975).

En fin de compte, le mécanisme d'action de la vitamine D à l'égard du calcium et du phosphore peut se résumer de la façon suivante : il y a augmentation de l'absorption intestinale du calcium et du phosphore et augmentation du dépôt de sels calciques au niveau de l'os. Toutefois si le taux alimentaire du calcium est trop bas, son absorption intestinale est ralentie par le facteur D (FERRANDO, 1964).

b) La parathormone : elle a un rôle ostéolytique par mobilisation du calcium des réserves osseuses en activant les ostéoclastes. Cette action ostéolique est due au fait que sous l'action de la parathormone il y a augmentation du nombre et de l'activité des ostéoblastes (REGNIER, 1976).

Elle favorise aussi la transformation de la vitamine D en 1,25 dihydrocholécalférol.

c) La calcitonine : elle diminue la mobilisation du calcium osseux et favorise le dépôt du calcium dans l'os et protège donc le squelette contre la déminéralisation.

## 2.6 - FONCTIONS DU CALCIUM ET DU PHOSPHORE

Le phosphore et le calcium ont un rôle prépondérant dans la croissance et le développement des individus ; c'est pour cela que les apports doivent être particulièrement élevés chez les jeunes et les femelles en gestation. Mais étant donné que les tissus sont en perpétuel renouvellement, il existe aussi un besoin d'entretien pour toutes les catégories d'animaux d'autant plus qu'à ce rôle dit "plastique" s'ajoutent les rôles fonctionnels (DELAVERNE, 1985) .

### 2.6.1 - Fonctions du calcium

Les rôles fonctionnels du calcium concernent :

- l'excitabilité neuromusculaire dont le calcium est le modérateur ;
- la perméabilité des membranes cellulaires ;
- l'équilibre acidobasique du sang ;
- la coagulation du sang où l'ion calcium catalyse la transformation de la prothrombine en thrombine ;
- le processus sécrétoire de certaines hormones et dans leur mode d'action.

### 2.6.2 - Fonctions du phosphore

Le phosphore intervient dans la majorité des réactions biochimiques ; les composés phosphorés jouent un rôle notamment :

- dans les mécanismes de réserve et de transfert d'énergie (ATP) donc dans l'utilisation des glucides et des lipides ;
- dans la régulation des activités enzymatiques (phospholipides) ;
- dans le maintien de l'équilibre acidobasique ;
- dans le pouvoir tampon du rumen ;
- dans la synthèse de composés organiques essentiels (phospholipides, acides nucléiques, phosphoprotéines etc.).

Du fait de son rôle dans les fonctions variées, la carence en phosphore ne se manifeste pas seulement par les lésions siégeant au niveau du squelette où il existe en combinaison avec d'autres minéraux, mais également par une multitude de désordres altérant de nombreuses fonctions parmi lesquelles la reproduction.

C'est ainsi que les termes rachitisme -ostéopose ostéomalacie traduisant l'existence des lésions siégeant plus spécialement au niveau du squelette sont les résultats d'un trouble du bilan du phosphore ou du calcium.

Des apports alimentaires insuffisants ou pertes excessifs non compensées, un mauvais équilibre de mécanismes régulateurs sont à l'origine des accidents pathologiques observés sur le squelette.

## 2.7 - LE RAPPORT PHOSPHOCALCIQUE

Dans la ration, le calcium et le phosphore doivent être combinés dans des proportions bien déterminées pour leur bonne utilisation digestive.

Ces proportions sont en rapport avec l'état physiologique de l'animal.

Cependant, la meilleure utilisation se fait avec un rapport phosphocalcique supérieur à 1 c'est-à-dire que la ration doit être plus riche en calcium qu'en phosphore. Ce rapport doit être plus élevé chez les lapines en gestation (tableau XI).

Les nutritionnistes ont pu définir des recommandations pour les différentes catégories d'animaux : adultes au repos (mâles et femelles vides en attente de réforme), femelles gestantes (mais non allaitantes) femelles allaitantes (gestantes ou non) et en fin les jeunes entre le sevrage (un mois environ) et l'abattage (deux mois et demi environ).

**Tableau XI :** Composition en calcium et en phosphore souhaitable pour les aliments destinés aux lapins de différentes catégories élevés en système intensif (LEBAS et coll., 1984).

|           | Jeunes en croissance<br>4-12 sem | Lapines allaitantes<br>(+lapéreaux sans mère) | Lapines gestantes non allaitantes | Adultes à l'entretien dont les mâles | Aliment "mixtes" maternité + allaitement |
|-----------|----------------------------------|---|-----------------------------------|--------------------------------------|--|
| Calcium   | 0,40                             | 1,10  | 0,80                              | 0,40                                 | 1,10                                     |
| Phosphore | 0,30                             | 0,80  | 0,50                              | 0,30                                 | 0,80                                     |
| Ca/P      | 1,33                             | 1,37  | 1,60                              | 1,33                                 | 1,37                                     |

## CHAPITRE 3 : EFFETS DE LA PHYTASE MICROBIENNE

### 3.1 - HISTORIQUE

Depuis les premières études de NELSON et coll. (1971) sur les possibilités d'utilisation des phytases fongiques dans l'alimentation des volailles, des essais avaient été réalisés chez le porc avec les 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 des phytases produits par culture d'*Aspergillus niger* (NASI) cité par POINTILLART (1994).

Depuis, les travaux se sont multipliés dans la plupart des pays d'Europe et aux Etats Unis d'Amérique. Malheureusement le lapin n'a encore fait objet d'aucune étude dans ce domaine.

### 3.2 - ACTIVITES PHYTASIQUES

Il existe au moins trois sortes d'activités phytasiques : celle de la céréale proprement dite, celle que pourrait présenter le tube digestif de l'animal (de l'intestin ou de sa flore) ou celle qu'on peut rajouter à l'aliment d'origine microbienne.

Grâce à la flore du rumen, les ruminants hydrolysent totalement le phosphore phytique alors que chez les monogastriques la situation est variable. En effet, le lapin, le porc, le cobaye, et le hamster ont une activité phytasique intestinale négligeable. Par contre le poulet et le rat auraient une activité supérieure (POINTILLART, 1994).

Quant à la phytase microbienne qui nous intéresse ici, elle a été utilisée chez les porcs et les volailles afin d'améliorer la digestibilité et la rétention du phosphore et par conséquent réduire son excrétion fécale:

Ainsi chez ces espèces environ 70 à 80 p.100 des quantités ingérées sont excrétées principalement dans les fèces.

Les essais réalisés chez le poulet avec un aliment pauvre en phosphore ont montré également que la phytase permet d'augmenter la croissance des animaux et la teneur des os en matières minérales (SIMON et coll., 1990 ; KIISKINEN et PIIRONEN, 1990 ; BROZ et coll., 1992 ; MEIJERHOFF et VAN DER HAAR, 1992 ; HUYGHEBAERT et DE GROOTE, 1992 ; KIISKINEN, 1992 ; NIRE et VOGT cités par BOUGON (1993); SCHONER et coll., 1991 ; FARREL, 1993 ; SCHONER, 1993).

Les résultats analogues ont été obtenus chez le porc (LEI et coll., 1992 ; LEI et coll., 1993 ; MROZ et coll., 1994).

### **3.3 - DOSES UTILISEES**

Les doses de phytase ajoutées à la ration varient selon les auteurs.

C'est ainsi que BOUGON (1993) a indiqué qu'il est préférable d'ajouter à la ration de poulets de chair des phytases aux taux de 500 à 600 unités/kg d'aliment.

Chez le porc, JONGBLOED et coll. (1992) ont montré que la digestibilité du phosphore total augmente de 18,5 à 29,8 p.100 sous l'effet de la phytase Natuphos à la dose de 1500 unités/kg d'aliment.

Quant à la rétention du phosphore, LEI et coll. (1993) avec la supplémentation en phytase de 750 unités/kg à la ration de porcs au sevrage ont montré qu'elle augmente de 50 p.100 au moment où l'excrétion fécale diminue de 42 p.100.

Néanmoins l'efficacité de la phytase tend à diminuer à mesure que le taux de phosphore de l'aliment croît.

### **3.4 - FACTEURS DE VARIATION DE L'ACTIVITE PHYTASIQUE**

L'activité de la phytase se heurte à un certain nombre de facteurs limitants.

#### **3.4.1 - La température**

Comme les phytases des céréales, les phytases microbiennes sont inactivées par les températures élevées.

Cette thermolabilité a été observée *in vitro* sur la phytase Gist-Brocade (*Aspergillus ficuum*) qui perd 17 p.100 de son activité à 84°C et 64 p.100 à 87°C SIMON et coll. cités par POINTILLART (1994), la Finase (*Aspergillus niger*) est totalement inactivée ou delà de 60°C SIMELL et coll. cités par POINTILLART (1994).

Ce problème de thermolabilité se pose surtout dans l'utilisation de la phytase microbienne dans les aliments granulés dont la température de granulation peut être très élevée.

### 3.4.2 - Le pH

Les phytases végétales sont actives à un pH optimal de 5. Elles sont très sensibles aux variations de pH ; les milieux trop acides ou trop alcalins peuvent les inactiver de façon irréversibles.

Quant aux phytases microbiennes, elles ont deux pH optima, l'un à 2,5 et l'autre à 5,5 ce qui amplifie leur champ d'action au niveau de la digestion chez l'animal.

L'enzyme s'avère donc surtout active dans le gastroduodénum c'est-à-dire à des pH inférieurs à 6. (JONGBLOED et coll. 1992).

### 3.4.3 - Autres facteurs de variation

- Le calcium (et certains ions métalliques) forme des phytates stables résistants à l'attaque de l'enzyme.

- La combinaison des phytates avec certaines protéines sous forme de complexes dans les graines les rend moins vulnérables à l'attaque phytasique.

- La dose de phytase : pour chaque espèce animale il existe un seuil auquel l'efficacité de la phytase est optimale.

C'est ainsi que par exemple la réduction de la teneur des déjections en phosphore chez le poulet de chair passe de 19 p.100 à 31 p.100, quand on passe de 600 à 1000 unités/kg d'aliment, alors qu'elle varie peu en passant de 1000 à 1500 unités/kg d'aliment.

Il est supposé qu'un gramme de natuphos renferme 5000 unités, une unité d'activité correspondant à la quantité d'enzyme qui libère en une minute à un pH de 5,5 et à une température de 37°C une micromole de phosphore inorganique à partir d'une solution de phytate de sodium à 0,0015 mole par litre.

Les phytates répondent à la même structure générale (Figure 3).

Ces phytates myo-inositol-hexaphosphates représentent la principale forme de stockage du phosphore dans les céréales.

Les équivalences entre phytases et phosphore d'origine minérale sont d'ordre de 600 unités pour un gramme de phosphore provenant du phosphate monocalcique ou 1,25 gramme du phosphore provenant du phosphate bicalcique. Cette différence est expliquée par le fait que le phosphore du phosphate bicalcique est moins disponible que le phosphore du phosphate monocalcique. Cependant la dernière équivalence peut varier avec la technique employée pour fabriquer le phosphate bicalcique (BOUGON, 1993b).

Pour SCHONER et coll. (1991) l'équivalence est de l'ordre de 700 unités de phytase pour 1 g de phosphore.

En définitive la prise en compte de la digestibilité du phosphore phytique pour la formulation des aliments des monogastriques et les perspectives d'utilisation des phytases microbiennes pour le rendre disponible et par conséquent diminuer les quantités de phosphore inorganique rajouté à l'aliment (et de ce fait les coûts de production) constituent les nouvelles voies prometteuses pour la réduction de la pollution de l'environnement par les rejets phosphorés.

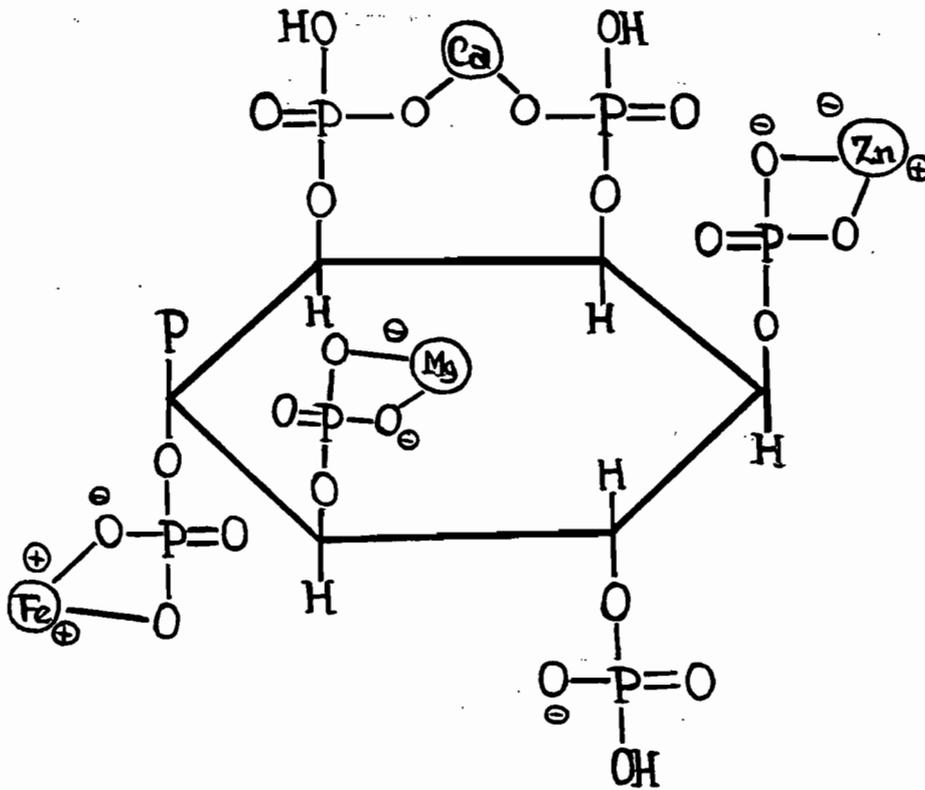


Figure 3:

Structure des phytates myo-ino-  
sitol hexaphosphate (GUILLOT  
et coll. 1984)

**Exemple de calculs d'économie de phosphore possible avec la phytase (POINTILLART, 1994).**

Besoin moyen d'un porc en finition (de 50 à 100 kg) : estimé à 2,5 g de P. digestible par kg d'aliment (5 g de P. total digestible à 50 p.100). Régime céréales + tourteaux : apport de phosphore végétal estimé à 4 g/kg d'aliment.

|   | <u>SANS PHYTASE</u>                  | <u>AVEC 500 - 1000 U/kg</u>          |
|---|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Digestibilité du P végétal  | 35 p.100                             | > 50 p.100                           |
| P végétal digestible  | $0,35 \times 4 = 1,4 \text{ g/kg}$   | $0,5 \times 4 = 2 \text{ g/kg}$      |
| A ajouter sous forme de P digestible minéral  | $2,5 - 1,4 = 1,1 \text{ g/kg}$       | $2,5 - 2 = 0,5 \text{ g/kg}$         |
| Ce qui équivaut à un apport de P minéral<br>(en affectant à celui-ci une digestibilité de 80 p.100) | $\frac{1,1}{0,8} = 1,4 \text{ g/kg}$ | $\frac{0,5}{0,8} = 0,6 \text{ g/kg}$ |
| Soit 57 p.100 de phosphate en moins à incorporer dans le régime avec phytase                        |                                      | $\frac{1,4 - 0,6}{1,4} \times 100$   |
| P total du régime g/kg  | $4 + 1,4 = 5,4$                      | $4 + 0,6 = 4,6$                      |
| Soit une réduction de l'apport total de 15 p.100  | $\frac{(5,4 - 4,6)}{5,4} \times 100$ | avec le régime "phytase"             |
| Excrétion fécale de phosphore   | $5,4 - 2,5 = 2,9$                    | $4,6 - 2,5 = 2,1$                    |
| Soit une réduction de l'excrétion fécale de près de 28 p.100  |                                      | $\frac{(2,9 - 2,1)}{2,9} \times 100$ |

### 3.5 - AUTRES ROLES DE LA PHYTASE

Le domaine d'application de l'efficacité de la phytase est large. Ainsi, à côté de son effet écologique par la réduction de la pollution en élevage industriel et zootechnique par l'amélioration des performances zootechniques des animaux, les études ont montré que les phytates augmenteraient la rétention du cadmium dans les organes chez le poulet et par conséquent la phytase, enzyme qui hydrolyse les phytates devrait avoir un effet inverse.

C'est ainsi que la phytase diminue la concentration en cadmium dans les organes de 20 à 50 p.100 (GUILLOT et coll., 1994).

Il est donc important de protéger le consommateur de l'absorption trop importante de ce métal toxique par le biais de sa nourriture ; le cadmium provenant pour 70 p.100 des aliments d'origine végétale et pour 30 p.100 des produits d'origine animale.

Ainsi en supposant que la phytase a les mêmes effets chez la volaille, le porc et le lapin c'est-à-dire chez les monogastriques domestiques, son utilisation contribuerait aussi à l'amélioration de la qualité toxicologique des denrées alimentaires d'origine animale destinées à la consommation humaine.

**DEUXIEME PARTIE :**  
**PARTIE EXPERIMENTALE**

## CHAPITRE 1 : MATERIEL ET METHODES

### 1.1 - TYPES D'ANIMAUX - CONDITIONS D'ELEVAGE

L'étude a porté sur 8 lapereaux de race locale âgés de 45 jours, composés de 4 mâles et de 4 femelles. Ils sont placés dans les mêmes conditions d'élevage où ils sont maintenus dans des cages individuelles de 58,7 cm de longueur, 48,5 cm de largeur et 37 cm de hauteur dont le plancher comporte 320 trous de 1,5 centimètres de diamètre. Ces cages sont rangées sur batterie simple dans un local fermé à clef, bien aéré et suffisamment éclairé.

### 1.2 - ALIMENT

Un régime expérimental a été soigneusement formulé et mélangé à la main au laboratoire de Zootechnie-alimentation de l'Ecole Inter-Etats des Sciences et Médecine Vétérinaires de Dakar à partir des ingrédients achetés sur le marché local. Le tableau XII montre sa composition centésimale.

Cette ration a été divisée en deux parties :

- la première partie (ration I) constitue la ration témoin ;
- la deuxième (ration II) est constituée par la ration I à laquelle on a ajouté de la phytase microbienne d'*Aspergillus niger* (NATUPHOS<sup>ND</sup>) à la dose de 1000 unités/kg d'aliment soit 0,2 g de phytase/kg d'aliment.

Un échantillon a été prélevé et analysé pour déterminer la composition chimique de ce régime dont les données sont consignées au tableau XIII.

**Tableau XII** : Composition du régime expérimental.

| Composants          | P.100 MF | Poids (kg) |
|---------------------|----------|------------|
| Sorgho blanc        | 55       | 13,75      |
| Tourteau d'arachide | 15       | 3,75       |
| Farine de poisson   | 6,5      | 1,625      |
| Huile d'arachide    | 2        | 0,5        |
| Sel de cuisine      | 0,5      | 0,125      |
| Fanes d'arachide    | 21       | 5,250      |
| Total               | 100      | 25         |

Nous tenons à souligner que la ration utilisée pour ce travail ne contient aucune source de phosphore minéral.

**Tableau XIII** : Composition chimique de l'aliment.

|                        |                     |       |
|------------------------|---------------------|-------|
| P.100 matière fraîche  | Humidité            | 10,56 |
|                        | Matières sèches     | 89,44 |
| P.100 de matière sèche | Matières protéiques | 23,04 |
|                        | Cellulose brute     | 9,06  |
|                        | Matières minérales  | 6,26  |
|                        | Calcium             | 0,38  |
|                        | Phosphore           | 0,35  |
|                        | Calcium/phosphore   | 1,08  |

### **1.3 - MATERIEL TECHNIQUE ET DE LABORATOIRE**

#### **1.3.1 - Matériel technique**

Il est constitué de matériel simple :

- de petits pots en plastique pour la pesée et la distribution des aliments ;
- flacons en plastique pour la fabrication des abreuvoirs à tétine ;
- matériel de collecte des fèces et urines ;
- sachets en plastique pour conserver les fèces ;
- flacons en plastique pour conserver les urines ;
- une balance pour peser les animaux.

#### **1.3.2 - Matériel de laboratoire**

Il comprend un certain nombre d'éléments :

- un congélateur et un réfrigérateur pour la conservation des échantillons ;
- deux rampes de minéralisation ;
- 1 digesteur de marque BUCHI ;
- un distillateur de marque BUCHI ;
- deux balances électroniques de marque METTLER ;
- 3 étuves ;
- 1 four ;
- 1 spectrophotomètre ;
- 1 moulinex ;
- eau distillée ;
- du petit matériel et des réactifs pour le dosage du phosphore pour les fèces et urines, du calcium, de la cellulose, de la matière azotée en plus du phosphore pour l'aliment.

## 1.4 - CONDUITE DE L'EXPERIMENTATION

### 1.4.1 - Constitution des lots

Les huit lapereaux ont été répartis en deux lots A et B de quatre animaux chacun (tableaux XIV et XV dont deux mâles et deux femelles par lot. L'expérience est menée en deux séries successives c'est-à-dire le carré latin  $(4 \times 2) \times 2$ . Dans la première série, les animaux ont reçu la ration I et sert donc de témoin au lot B qui reçoit la ration B. La deuxième série est l'inverse de la première (tableau XVI).

Tableau XIV : Composition du lot A.

| N° de lapin | A1    | A2    | A3    | A4    |
|-------------|-------|-------|-------|-------|
| Sexe        | ♀     | ♀     | ♂     | ♂     |
| Poids (kg)  | 1,500 | 1,750 | 1,550 | 1,450 |

♂ : mâle    ♀ : femelle.

Poids moyen du lot A (kg) :  $1,562 \pm 0,113$ .

Tableau XV : Composition du lot B.

| N° de lapin    | B1    | B2    | B3    | B4    |
|----------------|-------|-------|-------|-------|
| Sexe           | ♀     | ♀     | ♂     | ♂     |
| Poids vif (kg) | 1,350 | 1,550 | 1,550 | 1,550 |

Poids moyen du lot B (kg) :  $1,500 \pm 0,086$

La répartition des lapereaux a été faite pour que l'alimentation reste le plus que possible le seul critère de variation.

**Tableau XVI** : Déroulement de l'expérience.

|                | Ration I |    |    |    | Ration II |    |    |    |
|----------------|----------|----|----|----|-----------|----|----|----|
| Première série | A1       | A2 | A3 | A4 | B1        | B2 | B3 | B4 |
| Deuxième série | B1       | B2 | B3 | B4 | A1        | A2 | A3 | A4 |

#### 1.4.2 - Phase d'adaptation

Elle est d'une durée d'une semaine pendant laquelle les animaux s'adaptent à leur régime alimentaire.

Pendant cette période nous avons procédé à la prévention contre la coccidiose à l'aide de l'amprolium. Aucune autre mesure de prophylaxie n'a été prise. Cette période d'adaptation a été également observée entre les deux séries de l'expérience.

#### 1.4.3 - Phase expérimentale

C'est la phase la plus importante pendant laquelle les animaux ont été suivis avec une attention particulière.

##### 1.4.3.1 - Alimentation et abreuvement

Pendant toute la durée de la phase expérimentale les animaux disposent d'un aliment et de l'eau à volonté.

Les abreuvoirs à tétine ont été fabriqués au laboratoire de Zootechnie-Alimentation et utilisés pour permettre le goutte-à-goutte. Ils ont l'avantage de garder l'eau toujours propre.

L'aliment est distribué deux fois par jour à raison de 50 g/lapin à 8 h et 50 g/lapin à 18 h.

Au fur et à mesure que les lapereaux grandissaient nous avons augmenté la ration à 125 grammes par jour et par animal dans la deuxième semaine puis 150 grammes par jour et par animal à partir de la troisième semaine. La consommation alimentaire quotidienne est notée ; l'aliment étant pesé avant et après la consommation c'est à dire que les quantités d'aliments consommées sont déterminées par différence entre les quantités distribuées et les refus.

#### 1.4.3.2 - Collectes des fèces et des urines

Elles ont lieu après une semaine d'alimentation et portent sur cinq jours successifs. Les fèces des animaux passent à travers les trous du plancher de la cage puis s'accumulent en dessous sur une grille à mailles fines qui laisse passer l'urine. Cette dernière est récupérée dans un plateau placé sous la grille et contenant 25 ml d'acide sulfurique.

Parfois quelques crottes demeurent écrasées et collées sur le plancher ce qui nécessite le grattage du plancher pour récupérer la totalité des fèces éliminées par les lapins. La quantité de fèces collectée est pesée pour déterminer par lapin, l'excrétion fécale quotidienne. L'excrétion sur cinq jours de collecte constitue un échantillon qui est conservé au congélateur jusqu'à l'analyse chimique.

Les urines accumulées dans les plateaux sont aussi quotidiennement récupérées avec un peu d'eau distillée puis mesurées à l'aide d'un cylindre gradué. Selon la quantité d'urine éliminée par jour et par lapin un certain pourcentage est prélevé (tableau XVII). Les prélèvements par période de collecte sont mélangés et constituent un échantillon gardé au congélateur jusqu'à l'analyse chimique.

**Tableau XVII : Formation des échantillons d'urine.**

| Quantités (Q)-émises (ml) | Quantité prélevée<br>P.100 des quantités émises |
|---------------------------|---|
| $Q \leq 100$              | 20  |
| $100 < Q \leq 200$        | 15  |
| $200 < Q \leq 300$        | 10  |
| $Q > 300$                 | 5   |

**1.4.4 - Analyse des échantillons**

Après deux séries de collecte, nous avons eu trente deux échantillons à analyser dont seize échantillons de fèces et seize échantillons d'urine.

**1.4.4.1 - Analyse des fèces****1.4.4.1.1 - Préparation des échantillons**

Avant leur analyse, les fèces sont décongelées puis broyées dans un mortier pour avoir les particules fines et homogènes.

**1.4.4.1.2 - Méthodes d'analyse**

L'analyse des échantillons se fait selon les méthodes d'analyse d'aliments pour bétail appliquées à l'I.E.M.V.T..

### a) Détermination de la matière sèche

3 à 5 grammes de matières fécales broyées sont pesées dans des creusets préalablement séchés dans une étuve à 105°C pendant une heure. Les creusets contenant les fèces sont déposés dans une étuve réglée à 105°C pendant toute la nuit.

La perte de poids déterminée par la pesée représente l'humidité.

Soient : P1 : poids de l'échantillon

P2 : poids du creuset contenant l'échantillon de fèces avant le séchage.

P3 : poids du creuset contenant l'échantillon de fèces après le séchage.

$$\text{Humidité (p.100)} = \frac{P2-P3}{P1} \times 100$$

$$\text{Matières sèches (p.100)} = 100 - \text{Humidité (p.100)}$$

### b) Dosage du phosphore

#### - Principe

Il repose sur la minéralisation d'une prise d'essai et traitement de la solution par le réactif vanado-molybdique et mesure de l'absorbance de la solution jaune ainsi obtenue au spectrophotomètre à 430 nm.

#### - Mode opératoire

1 gramme environ d'une prise d'essai est mis dans un matras. On y ajoute 10 ml d'acide nitrique pur puis 4 ml d'acide perchlorique pur. L'ensemble est porté à l'ébullition jusqu'à dissolution complète.

Après refroidissement, le contenu est transféré dans un ballon de 200 ml. On complète à 200 ml avec l'eau distillée.

On prélève ensuite 2 ml de cette solution dans un tube à essai, on y ajoute 2 ml de réactif Vanado-molybdique déjà préparé. Mélanger et laisser réagir pendant 10 minutes.

La lecture de la densité optique de cette solution se fait au spectrophotomètre à 430 nm. L'intensité de la coloration est proportionnelle à la concentration de la solution en phosphore.

#### - Résultats d'analyses

A partir de l'étalonnage déjà connu on détermine la quantité de phosphore contenu dans la quantité de fèces minéralisée.

La quantité de phosphore est rapportée à la quantité totale de fèces, ce qui donne la quantité totale de phosphore excrété dans les fèces par lapin et par période de collecte.

#### 1.4.4.2 - Analyses de urines

Le protocole d'analyse des urines est le même que celui des fèces sauf qu'ici, après décongélation de l'échantillon à l'air libre on prélève une prise d'essai de 5 ml dans un matras.

La quantité de phosphore obtenue dans 5 ml d'urine analysés est rapportée à la quantité totale d'urine émise.

Ici aussi seize échantillons d'urines ont été analysés pour le dosage du phosphore.

#### 1.4.5 - Analyse statistique

Les résultats sont présentés sous forme de moyenne. La comparaison entre les lots a été faite par l'analyse de la variance selon le test de Fischer au seuil de signification de 0,05.

Les valeurs à  $P < 0,05$  ont été considérées comme significatives.

## CHAPITRE 2 : RESULTATS

### 2.1 - CONSOMMATION ALIMENTAIRE

Pendant toute la durée de l'expérience (quatre semaines) sur les lapins en croissance, une nette augmentation progressive de la consommation alimentaire a été notée aussi bien dans le lot A que dans le lot B. Cependant, cette consommation alimentaire se révèle plus élevée dans le lot B (998,9 g/animal/jour) recevant la ration contenant la phytase (*Aspergillus niger*) à la dose de 0,2 gramme par kilogramme d'aliment contre 969,27 g/anim/jour dans le lot A, mais cette différence n'est pas statistiquement significative ( $P > 0,05$ ).

### 2.2 - EVOLUTION PONDERALE

Dans les deux lots, l'évolution pondérale a été progressive et ceci durant toute la durée de l'expérience. La meilleure vitesse de croissance a été observée dans le lot B dont la ration contient la phytase. Le gain moyen quotidien est de 32,55 g pour le lot B contre 30,98 pour le lot A.

La différence de croissance entre les deux lots d'animaux n'est pas significative ( $P > 0,05$ ). En effet nous avons observé une croissance homogène durant toute l'expérimentation.

### 2.3 - INDICE DE CONSOMMATION

L'indice de consommation augmente avec la croissance des animaux quand on compare les valeurs moyennes des mêmes lots à différentes périodes d'expérimentation. Toutefois, les meilleurs indices ont été obtenus chez les animaux du lot B recevant la ration contenant la phytase mais l'analyse statistique montre que la différence entre les deux lots n'est pas significative ( $P > 0,05$ ). Cet indice de consommation est en moyenne de 2,58 dans le lot A et de 2,55 dans le lot B.

Le tableau XVIII résume l'influence de la supplémentation en phytase microbienne sur la consommation alimentaire l'évolution pondérale et l'indice de consommation (valeurs moyennes), les valeurs individuelles sont représentées dans le tableau I, II et III en annexes.

**Tableau XVIII :** Influence de la supplémentation en phytase microbienne sur la consommation alimentaire, l'évolution pondérale et l'indice de consommation.

| Paramètre étudié               | Ration avec phytase | Ration sans phytase | Différence statistique |
|--------------------------------|---------------------|---------------------|------------------------|
| <b>M.S. consommées</b>         |                     |                     |                        |
| .Qté totale (g)                | 969,27±130,62       | 998,9±139,15        | NS                     |
| .g/anim/j                      | 78,52±9,23          | 80,04±9,58          | NS                     |
| .g/kg p 0,75                   | 553,54±87,54        | 575,69±60,73        | NS                     |
| .g/100 kg PV                   | 45439,94±7416,76    | 47960,00±4943,92    | NS                     |
| <b>Evolution pondérale</b>     |                     |                     |                        |
| .gain de poids par période (g) | 371,87±70,08        | 390,62±66,06        | NS                     |
| .G.M.Q. (g)                    | 30,98±5,84          | 32,55±5,50          | NS                     |
| .Indice de consommation        | 2,58±0,35           | 2,55±0,36           | NS                     |

N.S. : Non significative.

## 2.4 - BILAN DE PHOSPHORE

Le tableau XIX résume l'influence de la supplémentation en phytase microbienne sur l'utilisation du phosphore alimentaire (valeurs moyennes), les valeurs individuelles sont représentées dans le tableau IV et V en annexes.

### 2.4.1 - Ingestion de phosphore

Nous avons observé dans notre travail une augmentation progressive de la consommation de phosphore. Cette consommation est directement proportionnelle à la quantité d'aliment ingérée et elle est plus élevée dans le lot B (0,28 g) dont les lapins ont été soumis à la ration contenant la phytase que dans le lot A (0,27 g) dont la ration est dépourvue de phytase. Cette différence d'ingestion du phosphore entre les deux lots de lapins n'est pas statistiquement significative ( $P > 0,05$ ).

### 2.4.5 - Excrétion de phosphore

Comme l'ingestion, l'excrétion de phosphore apparaît plus élevée dans le lot B dont le taux est de 61,36 p.100 que dans le lot A à taux d'excrétion de 53,52 p.100 de phosphore ingéré.

Cette différence d'excrétion de phosphore entre le lot A et le lot B est valable aussi bien pour la voie fécale que pour la voie urinaire bien qu'elle n'apparaît pas significative.

Dans les deux lots de lapins, nous avons une excrétion fécale qui reste largement supérieure à l'excrétion urinaire.

En effet, pour le lot A, l'excrétion fécale représente 86,46 p.100 du phosphore total excrété contre 13,54 p.100 pour l'excrétion urinaire.

Quant au lot B, l'excrétion fécale représente 84,62 p.100 du phosphore total excrété contre 15,38 p.100 pour l'excrétion urinaire.

Il ressort de cette étude que la voie fécale est la principale voie d'élimination du phosphore. Elle représente elle seule plus de 3/4 du phosphore total éliminé par le lapin. Les calculs statistiques montrent que la différence d'élimination entre la voie fécale et la voie urinaire est significative ( $p < 0,05$ ).

#### 2.4.3 - Digestion de phosphore

La meilleure digestibilité du phosphore est obtenue dans le lot A recevant la ration sans phytase. Elle est de 50,52 p.100 contre 48,11 p.100 pour le lot B dont la ration contient la phytase. Ici aussi la différence statistique observée n'est pas significative ( $P > 0,05$ ).

#### 2.4.4 - Rétention de phosphore

La totalité du phosphore digéré n'est pas retenue par l'animal, une certaine quantité est éliminée avec les urines et par le lait dans le cas des femelles en lactation. La rétention est déterminée à partir de la formule générale suivante :

$$\text{Rétention (p.100)} = \frac{\text{P. ingéré} - (\text{P. fécal} + \text{P. urinaire})}{\text{P. ingéré}} \times 100$$

Nous avons obtenu une rétention plus élevée dans le lot A où les lapins ont été soumis à la ration ne contenant pas la phytase que dans le lot B dont la ration contient la phytase avec respectivement les valeurs moyennes de 46,48 et 36,64 p.100 du phosphore ingéré. L'analyse statistique montre que cette différence de rétention entre les deux lots n'est pas significative ( $p > 0,05$ ).

Toutefois le bilan de phosphore reste positif dans les deux lots ; l'élimination reste inférieure à l'ingestion de phosphore durant toute la durée de l'expérimentation. Il est plus élevé dans le lot témoin A que dans le lot B. Nous avons donc une bonne utilisation de phosphore alimentaire dans le premier cas.

**Tableau XIX :** Influence de la supplémentation en phytase microbienne sur l'utilisation du phosphore alimentaire.

| Paramètres étudiés       | Aliment témoin | Aliment phytase | Différence statistique |
|--------------------------|----------------|-----------------|------------------------|
| P. ingéré (g/anim./j.)   | 0,27±0,02      | 0,28±0,02       | NS                     |
| P. fécal (g/anim./j.)    | 0,13±0,02      | 0,14±0,01       | NS                     |
| P. digéré (g/anim./j.)   | 0,14±0,02      | 0,13±0,02       | NS                     |
| C.U.Da (p.100)           | 50,52±6,66     | 48,11±4,2       | NS                     |
| P. urinaire (g/anim./j.) | 0,02±0,01      | 0,03±0,02       | NS                     |
| Taux d'excrétion (p.100) | 53,52±5,66     | 61,36±5,50      | NS                     |
| Bilan (g/anim./j.)       | 0,13±0,02      | 0,11±0,02       | NS                     |
| Rétention (p.100)        | 46,48±5,66     | 36,64±5,50      | NS                     |

NS : Non significative

## **CHAPITRE 3 : DISCUSSION**

### **3.1 - SUJET DE TRAVAIL**

Les essais de supplémentation en phytase microbienne ont été réalisés jusque là seulement chez le poulet et le porc. D'excellents résultats ont été obtenus quant à l'amélioration des performances zootechniques et la bonne utilisation digestive du phosphore phytique (donc réduction de son rejet dans l'environnement) chez ces monogastriques.

Le problème se pose pour le lapin, animal monogastrique sur lequel aucun travail n'a été réalisé et/ou publié dans ce domaine ; cela pose un problème de comparaison de nos résultats.

### **3.2 - CONSOMMATION ALIMENTAIRE**

D'une façon générale, la consommation alimentaire est fonction des besoins alimentaires des animaux ce qui explique l'augmentation progressive de la quantité d'aliment consommée par l'animal au fur et à mesure de sa croissance.

Nous avons trouvé une consommation alimentaire supérieure à celle obtenue par COULIBALY (1992) chez les lapines gestantes (75,9 et 69,9 g/animal/jour).

Ceci peut s'expliquer par le fait que la composition et la nature de l'aliment utilisé ne sont pas les mêmes. En effet la nature et la composition de l'aliment sont parmi les principaux facteurs qui influencent sa consommation par l'animal.

Le niveau de consommation alimentaire de nos lapins est en désaccord avec les résultats trouvés par ASSANE et coll. (1994) et GONGNET et coll. (1993). Ces auteurs ont obtenu respectivement une consommation moyenne de 68,21 g de MS/anim/jour chez les lapines en gestation et 49,4 g de MS/anim/jour chez les lapins en croissance au Tchad.

Nous pouvons alors considérer qu'au cours de notre expérimentation, le niveau de consommation alimentaire a été satisfaisant.

### 3.3 - EVOLUTION PONDERALE

L'augmentation progressive de la consommation alimentaire doit expliquer la prise progressive de poids dans les deux lots. Les gains moyens quotidiens obtenus dans notre étude sont en accord avec les résultats de REYNE et SALCEDO-MILIANI cités par LEBAS et coll. (1984). Ces auteurs ont eu à travailler sur les lapins de race différente et l'aliment était sous forme de granulé. En plus leurs conditions de travail étaient meilleures que les nôtres ce qui laisse supposer une bonne croissance de nos animaux.

### 3.4 - INDICE DE CONSOMMATION

Nous avons obtenu les meilleurs indices de consommation que ceux rapportés par LEBAS et coll. (1984) sur les lapins de race californienne soumis à une ration granulée.

GONGNET et coll. (1993) ont trouvé également les indices supérieurs aux nôtres en travaillant sur les lapins en croissance au Tchad (3,6 ; 3,3 et 4,1 contre 2,58 et 2,55 dans notre étude). Ces animaux étaient âgés de 5 mois en moyenne.

En effet, les animaux âgés valorisent moins bien leur aliment que les animaux jeunes. Nous avons ainsi travaillé sur les lapereaux de 45 jours d'âge en moyenne ce qui expliquerait ces valeurs d'indices de consommation.

Les indices de consommation bas trouvés dans cette étude expliquent également la croissance rapide observée sur les lapins.

### 3.5 - Effets de la phytase microbienne

Entre le lot témoin A recevant la ration sans phytase et le lot B soumis à la ration contenant de la phytase à la dose de 0,2 g/kg d'aliment nous avons trouvé une différence statistiquement non significative ( $P > 0,05$ ) entre les quantités de matières sèches consommées, l'évolution pondérale, l'indice de consommation et l'ingestion de phosphore.

Toutefois, les meilleures valeurs sont obtenues dans le lot B ce qui rejoint les résultats obtenus chez le porc par différents auteurs entre autres JONGBLOED et coll. (1992) ; LEI et coll. (1993a) ; LEI et coll. (1993b) ; MROZ et coll. (1994). Des résultats

semblables ont été également obtenus chez le poulet de chair : SAUVEUR (1989) ; SCHÖNER et coll. (1991) ; BOUGON (1993a) ; BOUGON (1993b) ; FARREL et coll. (1993) ; SAUVEUR (1993) ; SCHÖNER et coll. (1993).

Cependant, nous avons trouvé des excréments (fécale et urinaire) de phosphore plus élevées chez les lapins du lot B que chez ceux du lot A.

La digestibilité et la rétention du phosphore sont faibles chez les animaux du lot B. Ces valeurs sont contraires à celles obtenues chez d'autres monogastriques (porcs, volailles). Néanmoins, les coefficients d'utilisation digestive apparente du phosphore restent élevés chez nos animaux comparés à ceux déjà obtenus par BESANCON et LEBAS (1969) sur les lapins en croissance qui est de 33 p.100 contre 50,52 p.100 dans notre étude.

D'autre part, ASSANE et coll. (1994) sont parvenus à une digestibilité moyenne de 25,46 p.100 lorsqu'ils ont eu à travailler sur les lapines gestantes.

Il est donc permis de supposer que notre niveau de digestibilité du phosphore est satisfaisant que ça soit chez les lapins du lot témoin dont la ration ne contient pas la phytase que chez ceux du lot B dont la ration en est enrichie.

Or les auteurs sont unanimes que plus de 2/3 du phosphore total des végétaux est présent sous forme phytique et par conséquent inassimilable par les monogastriques. Seul le 1/3 restant, soit 34 p.100 du phosphore ingéré peut être utilisé par l'animal. En plus la ration utilisée dans notre étude étant riche en sorgho, elle est supposée contenir un taux élevé de phosphore phytique. Nous avons trouvé un taux de digestibilité supérieur au taux de phosphore disponible dans l'aliment ce qui voudrait dire qu'une bonne partie du phosphore phytique a été utilisée par le lapin.

Pour expliquer ce phénomène, cette observation nous laisse supposer une activité non négligeable de la phytase intestinale chez le lapin ; mais ceci est en contradiction avec POINTILLART (1994) qui dit que le lapin a une activité phytasique intestinale négligeable.

En ce qui concerne la rétention, GUEGUEN (1971) a montré que chez le lapin 33 p.100 du phosphore ingéré sont retenus. Cette valeur est proche de celle du phosphore supposé disponible.

De toute façon ce taux de rétention de phosphore reste inférieur au nôtre.

Cependant, le problème se pose sur les résultats obtenus entre le lot A et le lot B quant à la digestibilité et la rétention de phosphore qui devraient être normalement supérieures dans le lot B soumis à la ration contenant la phytase si on se réfère aux résultats obtenus chez le poulet et le porc sous l'influence de l'incorporation de la phytase microbienne dans la ration de ces espèces animales.

Ainsi, bien qu'il ne soit pas significatif nous avons à faire à un effet négatif de la phytase supplémentaire sur l'utilisation du phosphore chez le lapin. Cela n'est pas le cas chez le porc. En effet chez ce dernier l'utilisation de la phytase exogène en vue de l'amélioration de l'utilisation digestive du phosphore s'avère positive.

C'est ainsi que la supplémentation en phytase d'*Aspergillus niger* à l'aliment à base de blé et de soja destiné aux porcs en croissance, JONGBLOED et coll. (1992) ont obtenu, à la dose de 1500 unités/kg d'aliment une augmentation du CUDa de 27 à 29,7 p.100 alors que MROZ et coll. (1994), avec 800 unités/kg d'aliment ont obtenu une augmentation de 24,1 p.100. La rétention a également augmentée et l'excrétion du phosphore a diminué de 1,9 g/jour.

D'autres auteurs notamment JONGBLOED et coll. (1993), LEI et coll. (1993), ont rapporté les résultats semblables avec respectivement une réduction de l'excrétion de 42 p.100 à la dose de 750 unités/kg d'aliment et une augmentation de la digestibilité du phosphore de 46 p.100 à la dose de 1000 unités/kg d'aliment chez les porcs au sevrage.

## CONCLUSION GENERALE

Espèce réputée pour sa prolificité, le lapin est un herbivore capable de bien valoriser les fourrages c'est-à-dire de transformer les protéines végétales de moindre valeur en protéines de haute valeur biologique. Il est pour cela un fournisseur potentiel de protéines animales et peut par conséquent contribuer à la résolution du problème d'approvisionnement en ces protéines, problème auquel est confronté la population africaine ; mais son élevage pourtant facile est peu développé dans nos pays.

La réussite de l'élevage de cette espèce animale doit passer par une bonne maîtrise de son alimentation comme c'est le cas des autres espèces animales.

En effet, dans l'alimentation animale, les coûts de minéraux constituent environ 30 p.100 des coûts totaux, alors que ceux du phosphore seul représentent 35 p.100 des coûts des minéraux. D'autre part plus de 60 p.100 du phosphore des aliments destinés aux monogastriques se trouvent sous forme phytique. Non utilisé par l'animal ce phosphore va se retrouver dans le milieu extérieur par les fèces et va contribuer à la pollution de l'environnement alors que le problème se pose quant à la couverture des besoins de l'animal.

La phytase, enzyme capable d'hydrolyser le phosphore phytique est présent et très active dans le tube digestif des ruminants alors que bon nombre d'auteurs sont d'avis que la phytase intestinale des monogastriques a une activité négligeable. C'est pourquoi nous avons utilisé la phytase exogène produite par l'*Aspergillus niger* afin d'étudier son influence sur l'utilisation du phosphore chez le lapin. Son incorporation est de 0,2 g/kg d'aliment.

Pour mener cette étude, deux lots de quatre lapins chacun ont été constitués ; un lot témoin A et un lot expérimental B soumis à la ration contenant 0,2 g de phytase/kg d'aliment. L'expérience est menée en carré latin (4 lapins x 2 traitements) x 2 soit 8 lapins par traitement.

Les fèces et urines ont été récoltées puis analysées pour déterminer la quantité de phosphore excrétée. La quantité ingérée est déduite de la quantité d'aliment consommée.

Au terme de ce travail, les résultats suivants ont été obtenus.

- La consommation alimentaire : une consommation alimentaire supérieure a été obtenue chez les lapins soumis à la ration contenant la phytase avec 998,9 g d'aliment /jour contre 969,27 g/jour dans le lot témoin.

La différence de consommation entre les deux lots n'est pas significative.

- L'évolution pondérale : Des GMQ satisfaisants ont été obtenus dans les deux lots mais légèrement supérieurs chez les lapins du lot B avec 32,55 g contre 30,98 g dans le lot A.

La différence entre les GMQ de ces deux lots de lapins n'est pas significative.

- L'indice de consommation : le meilleur indice de consommation a été trouvé dans le lot dont la ration contient la phytase (2,55) que dans le lot témoin A (9,58) mais la différence n'est pas significative.

- L'excrétion de phosphore : le taux d'excrétion de phosphore est plus élevé dans le lot B que dans le lot A avec respectivement les valeurs de 61,35 p.100 et 53,52 p.100 (l'excrétion fécale et urinaire sont respectivement 0,13 g et 0,20 g pour le lot A contre 0,14 et 0,026 pour le lot B).

Il en résulte une meilleure rétention de phosphore pour le lot A (46,48 p.100) que pour le lot B (38,64 p.100).

Les différences trouvées entre les deux lots ne sont pas significatives.

- La digestibilité du phosphore : nous avons obtenu les taux de digestibilité satisfaisants pour les deux lots d'animaux ; le lot A présentant un taux plus élevé (50,52 p.100) que le lot expérimental B (48,10 p.100).

La différence entre les deux lots n'est pas significative.

Or l'aliment utilisé dans ce travail est supposé contenir un taux élevé de phosphore phytique. Le taux de digestibilité satisfaisant du lot témoin nous permet alors de supposer que l'activité de la phytase intestinale du lapin n'est pas négligeable.

En définitive, les résultats obtenus par la supplémentation en phytase microbienne d'*Aspergillus niger* afin d'améliorer l'utilisation digestive du phosphore ne sont pas prometteurs. Toutefois, ce travail loin d'être complet nécessite des études complémentaires pour démontrer pourquoi chez le lapin les résultats sont en désaccord avec ceux trouvés chez d'autres monogastriques.

**REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

ASSANE M. ; GONGNET G.P. ; COULIBALY A. et SERE A. ; 1993

Influence du rapport calcium/phosphore de la ration sur la calcémie, la phosphatémie et la magnésémie de la lapine en gestation.

Reprod. Nutr. Dév., 33 : 224-225.

ASSANE M. ; GONGNET G.P. ; COULIBALY A. ; SERE A. et GAYE O. ; 1994

Influence du rapport calcium/phosphore de la ration sur le métabolisme phosphocalcique et les performances de mise-bas chez la lapine en milieu sahélien.

Rev. Méd. vét., 145 (8-9) : 651-657.

ASSANE, M. ; SERE A. ; DJIMRAO S. ; SOW R. ; BA A.C. et GAYE O. ; 1989

Variations physiologiques de la calcémie et de la phosphatémie chez la brebis peul du sahel en gestation.

Sci. Vét. Comp., 91 : 263-271.

AUBRY M. ; 1975

Métabolisme phosphocalcique et ostéopathies du chien.

Th. : Méd. vét. : Alfort ; 77.

BARONE R. ; PAVAUX C. ; BLIN P.C. ; et CUQ P. ; 1973

Atlas d'anatomie du lapin.

Paris : Masson et Cie. -219 p.

BESANCON P. et LEBAS F. ; 1969

Utilisation digestive réelle et rétention du calcium par le lapin en croissance recevant un régime riche en calcium et en phosphore.

Ann. Zootech., 18(4) : 437-443.

BOUGON M. ; 1993a

Intérêt des phytases chez le poulet de chair.

Sci. techn. avicoles, 3 : 19-23.

BOUGON M. ; 1993b

Intérêt des phytases chez le poulet de chair.

Sci. techn. avicole, 5 : 13-19.

BRAUN J.P. ; RICO A.G. et BERNARD P. ; 1974

Quelques données récentes concernant la vitamine D.

Rev. Méd. vét., 125 10) : 1245-1258.

CLERC B. ; 1975

Métabolisme phosphocalcique : applications à la pathologie et à la thérapeutique chez le chien.

Anim. comp., 10(1) : 31-47.

COULIBALY A. ; 1992

Contribution à l'étude de l'influence du rapport calcium/phosphore alimentaire sur le métabolisme phosphocalcique et sur certains paramètres de reproduction chez la lapine.

Th. : Méd. Vét. : Dakar ; 6.

CROMWELL G.L. ; COFFEY R.D. ; MONEGUE H.J. and RANDOLPH J.H. ; 1995

Efficacy of low-activity, microbial phytase in improving the bioavailability of phosphorus in corn-soybean meal diets for pigs.

J. Anim. Sci., 73(2) : 449-456.

DELAVENNE M.M. ; 1985

Effet de l'apport phosphocalcique alimentaire sur certains paramètres sanguins de la lapine allaitante-gestante.

Th. : Méd. Vét. : Toulouse ; 141.

DJIMRAO S. ; 1989

Métabolisme phosphocalcique : Evolution de la calcémie et de la phosphatémie chez la brebis peul en gestation.

Th : Méd. Vét. : Dakar ; 54

FARREL D.J. ; MARTINE E. ; PREEZ J.J. ; BONGARTS M. ; BETTS M. ;  
SUDAMAN A. and THOMSON E. ; 1993

The beneficial effects of a microbial feed phytase in diets of broiler chicken and ducklings.

J. Anim. physiol. a. Anim. Nutr., 69 : 278-283.

FEKETE S. ; 1989

Recent findings and future perspectives of digestive physiology in rabbits : a review.

Acta veterinaria Hungarica, 37 (3) : 265-279.

FERRANDO R. ; 1964

Les bases de l'alimentation.

Paris : Vigot & frères. - 388 p.

GIDENNE T. et PONCET C. ; 1985

Digestion chez le lapin en croissance d'une ration à taux élevé de constituants pariétaux : Etude méthodologique pour le calcul de la digestibilité apparente par segment digestif.

Ann. Zootech., 38(4) : 429-446.

GONGNET G.P. ; ASSANE M. et DESOUMBE D. ; 1993

Effets de différents niveaux d'apport en protéines sur les performances de croissance du lapin de race locale.

Ann. Zootech., 42 : 75-79.

GUEGUEN L. ; 1971

Composition minérale du lait et son adaptation aux besoins minéraux du jeune.

Ann. Nutr. Alim., 25 : 335-381.

GUILLOT I. ; BIRZER D. et RAMBECK W.A. ; 1994

Influence de l'enzyme phytase sur la rétention du cadmium chez le rat et la caille.

Rev. Méd. Vét., 145(5) : 387-389.

HIOCO D. ; 1975

Aspects récents du métabolisme phosphocalcique.

Anim. comp., 10(1) : 17-29.

HOONELBECKE F. ; 1977

Contribution à l'étude des problèmes sanitaires posés par l'élevage du lapin.

Th. : Méd. Vét. : Lyon ; 24.

I.E.M.V.T. ; 1989a

Manuel vétérinaire. 2ème éd.

Maisons-Alfort : I.E.M.V.T. - 533 p.

I.E.M.V.T. ; 1989b

Techniques d'analyse d'aliments du bétail appliquées à l'I.E.M.V.T.

Maisons-Alfort : I.E.M.V.T. - 61 p.

I.N.R.A. ; 1989

Alimentation des animaux monogastriques : porc, lapin, volailles. - 2ème éd.  
Paris : I.N.R.A. - 281 p.

JONGBLOED A.W. ; 1987

Effect of diet on the absorption and retention of phosphorus by growing Pigs :  
*in* phosphorus in the feeding of pigs.  
Leystad : I.V.V.O. - 343 p.

JONGBLOED A.W. ; EVERTS H. and KEMME P.A. ; 1993

Phosphorus availability and requirements in pigs.  
Netherland journal of agricultural science : 163-178.

JONGBLOED A.W. and LENIS N.P. ; 1992

Alteration of nutrition as a means to reduce environmental pollution by pigs.  
Livest. Prod. Sci., 31 : 75-94.

JONGBLOED A.W. ; MROR Z. and KEMME P.A. ; 1992

The effect of supplementary *Aspergillus niger* phytase in diets for pigs on  
concentration and apparent digestibility of dry matter, total phosphorus and phytic  
acid in different sections of the alimentary tract.  
J. Anim. Sci., 70(4) : 1159-1168.

JOUGLAR J.Y. ; 1994

Contribution à l'étude du syndrome "Parésie gastro-intestinale" de la lapine  
allaitante.  
Th. : Doct. 3e cycle Sci. tech. prod. Anim. : Toulouse, I.N.P. ; 166.

LAPLACE J.P. ; 1978

Transit digestif chez les monogastriques : Comportement (Prise de nourriture - Coecotrophie) motricité et transit digestif et pathogénie des diarrhées chez le lapin.  
Ann. Zootech., 27 (2) : 225-265.

LAURENT J.F. ; 1969

Evolution de l'élevage du lapin de chair et sa pathologie.  
Th. : Méd. Vét. : Lyon ; 48.

LEBAS F. ; 1973

Possibilités d'alimentation du lapin en croissance avec les régimes présentés sous forme de farine.  
Ann. Zootech., 22(2) : 249-251.

LEBAS F. ; BESANCON P. et ABOUYOUB A. ; 1971

Composition minérale du lait de lapine : variations en fonction du stade de lactation.  
Ann. Zootech., 20(4) : 487-495.

LEBAS F. ; COUDET P. ; ROUVIER R. et DE ROCHAMBEAU H. ; 1984

Le lapin : Elevage et pathologie.  
Rome : FAO . - 298 p.

- (FAO Production et santé animales ; 19).

LEBAS F. et JOUGLAR J.Y. ; 1984

Apports alimentaires de calcium et de phosphore chez la lapine reproductrice.  
3ème congrès mondial de cuniculture, Rome, 1, 461-466.

LEI X.G. ; KU P.K. ; MILLER E.R. and YOKOYAMA M.T. ; 1993

Supplementary corn - Soybean meal diets with microbial phytase linearly improves phytate phosphorus utilization by weanling pigs.

J. Anim. Sci., 71(12) : 3359-3367.

LEI X.G. ; KU P.K. ; MILLER E.R. ; YOKOYAMA M.T. and ULLREY D.E. ; 1993

Supplementary corn - Soybean meal diets with microbial phytase maximizes phytate phosphorus utilization by weanling pigs.

J. Anim. Sci., 71(12) : 3368-3375.

LICHTWITZ A. et PARLIER R. ; 1965

Calcium et maladies métaboliques de l'os. Tome 3, Paris : Expansion scientifique française, 455 p.

MEGARD J.P. ; 1970

Aspects alimentaires de la coécotrophie chez le lapin.

Th. : Méd. Vét. : Alfort ; 56.

MROZ Z. ; JONGBLOED A.W. and KEMME P.A. ; 1994

Apparent digestibility and retention of nutrients bound to phytate complexes as influenced by microbial phytase and feeding regiment in pigs.

J. Anim. Sci., 72(1) 126-132.

NATALYS J.Y. . 1972

Particularités de la digestion chez le lapin.

Th. : Méd. Vét. : Lyon ; 59.

OVER M.A. ; LEBAS F. et LAPLACE J.P. ; 1978

Transit digestif chez le lapin : - variations péri-partum du comportement alimentaire et de l'excrétion fécale chez la lapine multipare.

Ann. Zootech., 38(4) : 429-446.

PARIGIBINI R. ; 1986

Bases de l'alimentation du bétail.

Pise : Faculté de médecine vétérinaire. - 292 p.

POINTILLART A. ; 1971

Interactions du calcium, du phosphore et du magnésium : Conséquences nutritionnelles et endocriniennes.

Th. Méd. vét. : Alfort ; 78.

POINTILLART A. ; 1994

Phytates, phytases : leur importance dans l'alimentation des monogastriques.

I.N.R.A. Prod. Anim., 7(2) : 29-39.

REGNIER A.M. ; 1976

Métabolisme phosphocalcique et remaniement osseux chez le chien en croissance:

Aspects physiopathologiques.

Th. : Méd. Vét. : Toulouse ; 75.

SAUVEUR B. ; 1989

Phosphore phytique et phytase dans l'alimentation des volailles.

I.N.R.A. Prod. Anim., 6(4) : 265-267.

SCHIERE J.B. ; 1990

Élevage des lapins sous les tropiques.

2 éd. Wageningen : C.T.A. 51 p.

SCHÖNER F.J. ; HOPPE P.P. und SCHWARZ G. ; 1991

Vergleich der Effekte Von mikrobieller phytase und anorganischem phosphat auf die Leistungen und die Retention von phosphor, Calcium und Rohasche bei Masthühnerküken in der Anfangsma.

J. anim. physiol. a Anim. Nutr., 66. -248-255.

SCHÖNER F.J. ; HOOPE P.P. ; SCHWARZ G. und WIESCHE J. ; 1993

Vergleich Von mikrobieller phytase und anorganischem phosphat bei Masthahnenküken : wirkungen auf die Mastleistungen und die Mineralstoffretention bei Variierter Calcium-Versorgung.

J. Anim. physiol a Anim. Nutr., 69 : 235-244.

VARENNE H. ; RIVE M. et VEIGNEAU P. ; 1963

Guide de l'élevage du lapin : Rentabilité - Médecine.

Paris : Librairie Maloine. - 408 p.

WOLTER R. ; 1974

Alimentation et troubles du développement osseux chez les carnivores domestiques.

Rev. Méd. Vét., 124(11) : 1137.

## **ANNEXES**

**Annexe I :** Influence de la supplémentation en phytase microbienne sur la consommation alimentaire.

Ration sans phytase.

| N° de lapin | Quantité totale (g M.S) | g de MS/anim/j | g de MS/kg 0,75 p | g de MS/100 kg PV    |
|-------------|-------------------------|----------------|-------------------|----------------------|
| 1           | 901,9                   | 75,23          | 580,36            | 50105,55             |
| 2           | 1251,8                  | 97,77          | 705,02            | 58223,25             |
| 3           | 937,2                   | 79,49          | 557,26            | 46860                |
| 4           | 1028                    | 86,23          | 662,97            | 52717,95             |
| 5           | 883,1                   | 68,62          | 506,22            | 42052,38             |
| 6           | 1062,9                  | 80,40          | 519,11            | 40880,77             |
| 7           | 858,9                   | 69,45          | 459,88            | 37343,47             |
| 8           | 830,4                   | 71,01          | 437,50            | 35336,17             |
| X ± E.T     | 969,27±<br>130,62       | 78,52±9,23     | 553,54±<br>87,54  | 45439,94±<br>7416,76 |

X±E.T : Moyenne ± Ecart-type.

**Annexe II :** Influence de la supplémentation en phytase microbienne sur la consommation alimentaire.

Ration avec phytase.

| N° de lapin | Quantité totale (g MS) | g de MS/anim/j | g de MS/kg.p <sup>0,75</sup> | g de MS/100 kg PV |
|-------------|------------------------|----------------|------------------------------|-------------------|
| 1           | 895,5                  | 75,30          | 576,25                       | 49750             |
| 2           | 1073,4                 | 103,76         | 638,24                       | 53670             |
| 3           | 930,9                  | 80,76          | 553,51                       | 46545             |
| 4           | 902,98                 | 75,95          | 563,54                       | 48158,93          |
| 5           | 901,5                  | 73,96          | 516,77                       | 42928,57          |
| 6           | 1336,8                 | 90,35          | 704,31                       | 56885,10          |
| 7           | 970,4                  | 76,09          | 519,58                       | 42191,30          |
| 8           | 979,9                  | 76,63          | 533,39                       | 43551,11          |
| X ± E.T     | 998,9±<br>139,15       | 80,04±9,58     | 575,69±<br>60,73             | 47960±<br>4943,92 |

X±E.T = Moyenne ± Ecart-type.

**Annexe III : Influence de la supplémentation en phytase microbienne sur l'évolution pondérale et l'indice de consommation.**

|                           | N° de lapin | Gain de poids par période (g) | GMQ (g)    | I.C.      |
|---------------------------|-------------|-------------------------------|------------|-----------|
| RATION<br>AVEC<br>PHYTASE | 1           | 300                           | 25         | 3,01      |
|                           | 2           | 400                           | 33,33      | 2,93      |
|                           | 3           | 450                           | 37,5       | 2,11      |
|                           | 4           | 500                           | 41,66      | 2,06      |
|                           | 5           | 300                           | 25         | 2,74      |
|                           | 6           | 350                           | 29,16      | 2,75      |
|                           | 7           | 300                           | 25         | 2,77      |
|                           | 8           | 375                           | 31,25      | 2,27      |
|                           | X±E.T       | 371,87±70,08                  | 30,98±5,84 | 2,58±0,35 |
| RATION<br>AVEC<br>PHYTASE | 1           | 450                           | 37,5       | 2         |
|                           | 2           | 450                           | 37,5       | 2,76      |
|                           | 3           | 450                           | 37,5       | 2,15      |
|                           | 4           | 325                           | 27,08      | 2,80      |
|                           | 5           | 300                           | 25         | 2,95      |
|                           | 6           | 450                           | 37,5       | 2,41      |
|                           | 7           | 300                           | 25         | 3,04      |
|                           | 8           | 400                           | 33,33      | 2,29      |
|                           | X±E.T       | 390,62±66,06                  | 32,55±5,50 | 2,55±0,36 |

X ± E.T : Moyenne ± Ecart-type.

Annexe IV : Bilan de phosphore : ration sans phytase.

|                       | 1       | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | X±E.T*        |
|-----------------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|---------------|
| P. ingéré (g)         | 0,2633  | 0,2782 | 0,3018 | 0,2814 | 0,2430 | 0,2485 | 0,2693±0,0201 |
| P. fécal (g)          | 0,1053  | 0,1611 | 0,1364 | 0,1290 | 0,1411 | 0,1239 | 0,1328±0,0169 |
| P. digéré (g)         | 0,1580  | 0,1171 | 0,1654 | 0,1524 | 0,1019 | 0,1246 | 0,1365±0,0233 |
| T. digest. (p.100)    | 60,0075 | 42,09  | 54,80  | 54,15  | 41,93  | 50,14  | 50,52±6,66    |
| P. urinaire (g)       | 0,0178  | 0,0477 | 0,0228 | 0,0122 | 0,0135 | 0,0110 | 0,0208±0,126  |
| T. excréation (p.100) | 46,76   | -      | 52,75  | 50,18  | 63,63  | 54,29  | 53,52±5,66    |
| Bilan (g)             | 0,1402  | -      | 0,1426 | 0,1402 | 0,0884 | 0,1136 | 0,1250±0,0211 |
| Rétention (p.100)     | 53,24   | -      | 47,25  | 49,82  | 36,37  | 45,71  | 46,48±5,66    |

X ± ET : Moyenne ± Ecart-type

T. digest. : Taux de digestibilité

T. excréation : Taux d'excrétion

\* La moyenne a été déterminée sur les animaux ayant les valeurs les plus proches.

Annexe V : Bilan de phosphore : ration avec phytase.

|                      | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | X±E.T*        |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------------|
| P.ingéré (g)         | 0,3162 | 0,2682 | 0,2635 | 0,2826 | 0,2658 | 0,2792±0,0196 |
| P. fécal (g)         | 0,1632 | 0,1231 | 0,1498 | 0,1383 | 0,1491 | 0,1447±0,0134 |
| P. digéré (g)        | 0,1528 | 0,1451 | 0,1137 | 0,1447 | 0,1167 | 0,1346±0,0161 |
| T. digest. (p.100)   | 48,32  | 54,10  | 43,15  | 51,06  | 43,90  | 48,10±4,17    |
| P. urinaire (g)      | 0,0321 | 0,0623 | 0,0204 | 0,0112 | 0,0059 | 0,0263±0,0200 |
| T. excrétion (p.100) | 61,83  | 69,13  | 64,60  | 52,91  | 58,32  | 61,35±5,50    |
| Bilan (g)            | 0,1207 | 0,0828 | 0,0923 | 0,1335 | 1,1108 | 0,1082±0,0182 |
| Rétention (p.100)    | 38,17  | 30,87  | 35,40  | 47,09  | 41,68  | 38,64±5,50    |

X ± ET : Moyenne ± Ecart-type

T. digest. : Taux de digestibilité

T. excrétion : Taux d'excrétion

\* La moyenne a été déterminée sur les animaux ayant les valeurs les plus proches.

## **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 RETIREE S'IL ADVIENT  
QUE JE ME PARJURE".**

## Résumé

L'influence de la supplémentation en phytase microbienne (*Aspergillus niger*) a été étudiée sur 8 lapins en croissance âgés de 45 jours en moyenne (4 mâles et 4 femelles).

Les animaux ont été répartis en deux lots A et B de 4 animaux chacun (2 mâles et 2 femelles).

Le lot témoin A reçoit la ration expérimentale et le lot B reçoit la même ration à laquelle on a ajouté la phytase à la dose de 0,2 g/kg d'aliment.

L'expérience est menée en carré latin (4 x 2) x 2. Après 4 semaines d'alimentation nous avons trouvé que le lot B dont les animaux sont soumis à la ration contenant la phytase présente les meilleures performances zootechniques (indice de consommation, évolution pondérale, GMQ) mais les différences ne sont pas significatives.

L'analyse chimique des fèces et urines montre que la phytase d'*Aspergillus niger* n'a pas d'effet notable sur la digestibilité et la rétention de phosphore chez le lapin.

**Mots clés :** Phytase - Phosphore - Lapin.

Par Jean Claude NZIMULINDA  
B.P. 2 MUKINGO - RWANDA

✓ **ECOLE INTER-ETATS  
DES SCIENCES ET MÉDECINE  
VÉTÉRINAIRES DE DAKAR  
BIBLIOTHEQUE**