



**HAL**  
open science

## Forme d'apport du phosphore, performances et minéralisation osseuse chez le poulet de chair

Maxime Lucas

► **To cite this version:**

Maxime Lucas. Forme d'apport du phosphore, performances et minéralisation osseuse chez le poulet de chair. Sciences agricoles. 2014. dumas-01083882

**HAL Id: dumas-01083882**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01083882>**

Submitted on 18 Nov 2014

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Année universitaire : 2013 - 2014

Spécialité : Agronomie

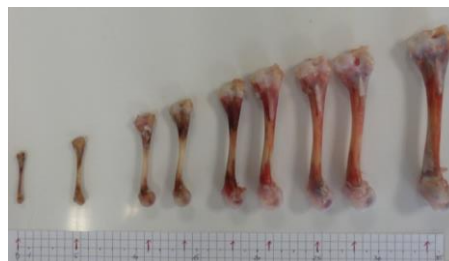
Spécialisation : Ingénierie Zootechnique

### Mémoire de Fin d'Études

- d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage
- de Master de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage
- d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)

# Forme d'apport du phosphore, performances et minéralisation osseuse chez le poulet de chair

Par : Maxime LUCAS



**- CONFIDENTIEL -**

**Soutenu à Rennes le 12/09/2014**

**Devant le jury composé de :**

Président : Jocelyne FLAMENT

Maîtres de stage : Vincent GERFAULT et Denis CHEVALIER

Enseignant référent : Lucile MONTAGNE

Autres membres du jury (Nom, Qualité) :

Maryline KOUBA, Rapporteur



## Fiche de confidentialité et de diffusion du mémoire

### **Confidentialité :**

Non  Oui si oui :  1 an  5 ans  10 ans

Pendant toute la durée de confidentialité, aucune diffusion du mémoire n'est possible<sup>(1)</sup>.

A la fin de la période de confidentialité, sa diffusion est soumise aux règles ci-dessous (droits d'auteur et autorisation de diffusion par l'enseignant).

Date et signature du maître de stage<sup>(2)</sup> :

### **Droits d'auteur :**

L'auteur<sup>(3)</sup> autorise la diffusion de son travail

Oui  Non

Si oui, il autorise

- la diffusion papier du mémoire uniquement<sup>(4)</sup>
- la diffusion papier du mémoire et la diffusion électronique du résumé
- la diffusion papier et électronique du mémoire (joindre dans ce cas la fiche de conformité du mémoire numérique et le contrat de diffusion)

Date et signature de l'auteur :

### **Autorisation de diffusion par le responsable de spécialisation ou son représentant :**

L'enseignant juge le mémoire de qualité suffisante pour être diffusé

Oui  Non

Si non, seul le titre du mémoire apparaîtra dans les bases de données.

Si oui, il autorise

- la diffusion papier du mémoire uniquement<sup>(4)</sup>
- la diffusion papier du mémoire et la diffusion électronique du résumé
- la diffusion papier et électronique du mémoire

Date et signature de l'enseignant :

(1) L'administration, les enseignants et les différents services de documentation d'AGROCAMPUS OUEST s'engagent à respecter cette confidentialité.

(2) Signature et cachet de l'organisme

(3) Auteur = étudiant qui réalise son mémoire de fin d'études

(4) La référence bibliographique (= Nom de l'auteur, titre du mémoire, année de soutenance, diplôme, spécialité et spécialisation/Option)) sera signalée dans les bases de données documentaires sans le résumé



## **Remerciements**

Je tiens tout d'abord à remercier Messieurs Maurice Gétain et Gérard Maignan, co-fondateurs et directeurs de MG2MIX, pour m'avoir accueilli au sein de leur entreprise durant ces 6 mois de stage.

Je remercie tout particulièrement M. Denis Chevalier, chef produit volaille, M. Vincent Gerfault, responsable nutrition-formulation, et M. Samuel Roulleau, ingénieur volaille, pour leur encadrement, leur aide et les précieux conseils apportés tout au long de mon stage.

Je souhaite aussi remercier M. et Mme Desille pour leur suivi au quotidien de la station expérimentale et leur aide lors des pesées.

Mes remerciements vont également à Jean-Louis Pinsard et toute l'équipe du laboratoire Bio-Chêne Vert ainsi qu'à Christophe Alleno et toute l'équipe du laboratoire Zootests pour les analyses qu'ils ont réalisées et leurs réponses à mes questions.

Un grand merci aussi à l'ensemble de l'équipe de MG2MIX et aux stagiaires qui m'ont permis de travailler dans une ambiance agréable et chaleureuse.

Je remercie Lucile Montagne pour son suivi du bon fonctionnement du stage.

Pour terminer, je tiens à remercier ma famille pour son soutien tout au long de mes études.



## Table des matières

Glossaire

Liste des abréviations

Liste des annexes

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction ..... p 1

### Partie 1 : Les besoins en phosphore et en calcium des poulets de chair en lien avec leur statut locomoteur..... p 2

1. Les besoins nutritionnels en phosphore et en calcium des poulets de chair..... p 2
  - 1.1. Le phosphore ..... p 2
    - 1.1.1. Présentation générale ..... p 2
    - 1.1.2. Les besoins des poulets de chair ..... p 3
  - 1.2. Le calcium ..... p 3
    - 1.2.1. Présentation générale ..... p 3
    - 1.2.2. Les besoins des poulets de chair ..... p 3
  - 1.3. Interdépendance des apports de phosphore et de calcium..... p 4
2. Les matières premières intéressantes pour les apports de phosphore et de calcium ..... p 5
  - 2.1. Le statut minéral des principales matières premières ..... p 5
  - 2.2. Les matières premières intéressantes ..... p 5
    - 2.2.1. Les phosphates, sources de phosphore..... p 5
    - 2.2.2. Les sources de calcium..... p 6
3. Les effets du phosphore et du calcium sur les performances et sur le statut locomoteur ..... p 7
  - 3.1. Les impacts sur les performances ..... p 7
    - 3.1.1. Le phosphore..... p 7
    - 3.1.2. Le calcium..... p 7
    - 3.1.3. Le phosphate défluoré et le phosphate Neophos..... p 8
  - 3.2. Les impacts sur le statut locomoteur ..... p 8
    - 3.2.1. La minéralisation osseuse chez les poulets de chair ..... p 8
    - 3.2.2. Le phosphore..... p 8
    - 3.2.3. Le calcium..... p 9
    - 3.2.4. Le phosphate défluoré et le phosphate Neophos..... p 9

### Partie 2 : Validation de la matrice de formulation au niveau des phosphates..... p 10

1. Matériel et méthodes ..... p 10
  - 1.1. Présentation de la station expérimentale ..... p 10
    - 1.1.1. Bâtiment ..... p 10
    - 1.1.2. Animaux..... p 10
    - 1.1.3. Equipement et conditions expérimentales..... p 10
  - 1.2. Protocole expérimental..... p 11
    - 1.2.1. Régimes expérimentaux ..... p 11
    - 1.2.2. Données générales..... p 11
    - 1.2.3. Performances de croissance ..... p 11
    - 1.2.4. Mesures et analyses osseuses ..... p 12
    - 1.2.5. Analyse des données ..... p 12





2. Résultats .....	p 13
2.1. Analyse des aliments expérimentaux .....	p 13
2.2. Performances zootechniques .....	p 13
2.2.1. Poids .....	p 13
2.2.2. Gains moyens quotidiens .....	p 13
2.2.3. Indices de consommation .....	p 13
2.2.4. Consommations d'aliment .....	p 13
2.3. Minéralisation osseuse .....	p 14
2.3.1. Mesures tibiales.....	p 14
2.3.2. Analyses tibiales.....	p 14
<b>Partie 3 : Discussion, limites et perspectives .....</b>	<b>p 15</b>
1. Discussion .....	p 15
1.1. Des performances zootechniques très ressemblantes d'un régime à l'autre .....	p 15
1.1.1. Le régime n'a pas d'effet durant la phase démarrage .....	p 15
1.1.2. Un effet du régime durant la phase croissance.....	p 15
1.1.3. Le régime n'a pas d'effet durant la phase finition .....	p 15
1.1.4. Des performances cohérentes avec la bibliographie .....	p 15
1.2. Des données tibiales quasiment identiques d'un régime à l'autre .....	p 16
1.3. Des économies permises par les phosphates défluoré et Neophos .....	p 16
1.4. Les autres paramètres à prendre en compte dans le choix du phosphate .....	p 17
1.5. Variabilité au niveau des résultats d'analyse des aliments .....	p 17
2. Limites de l'étude.....	p 18
2.1. Des données tibiales peu fiables en raison du faible nombre de répétitions.....	p 18
2.2. Manque d'une évolution dans le temps des tibias.....	p 18
2.3. Des résultats pas totalement représentatifs du terrain .....	p 18
3. Perspectives .....	p 18
Conclusion.....	p 19
Références bibliographiques .....	p 20
Annexes	



## Glossaire

*ad libitum* : à volonté

**homoscédasticité des résidus** : homogénéité des variances des résidus

**matrice de formulation** : base de données construite à partir de la connaissance des matières premières, de leur composition en nutriments et de leur valorisation nutritionnelle. C'est le socle de l'activité de formulation.

**nébulisation** : vaporisation

**papier granuleux** : papier cartonné posé sur la litière à la mise en place des poussins sur lequel est ajouté de l'aliment. L'accès à l'aliment est amélioré pour les poussins.

**pédichiffonnettes** : matériel de prélèvement de fientes

## Liste des abréviations

ANOVA : analyse de variance (analysis of variance)

Ca : calcium

DCP : phosphate bicalcique

DFP : phosphate défluoré

g : gramme

GMQ : gain moyen quotidien

IC : indice de consommation

INRA : institut national de la recherche agronomique

j : jour

kg : kilogramme

L : litre

MCP : phosphate monocalcique

MS : matière sèche

MSP : phosphate monosodique

N : newton

Na : sodium

Neophos : phosphate Neophos

NRC : national research council

P : phosphore

pc : probabilité critique

P dig : phosphore digestible

P disp : phosphore disponible

PNP : phosphore non phytique

SNIA : syndicat national des industriels de la nutrition animale

TD : tibia droit

TG : tibia gauche

UE : Union Européenne



## Liste des annexes

Annexe I : Exemple de résultats des analyses chimiques des aliments

Annexe II : Fiche de suivi d'une case

Annexe III : Fiche de suivi de la mortalité

Annexe IV : Fiche de suivi de la consommation d'eau

Annexe V : Fiche de suivi de la température et de l'hygrométrie dans le bâtiment

Annexe VI : Relation entre la force maximale et la rigidité tibiales



## Liste des figures

Figure 1 : Productions mondiales, européennes et françaises de volaille et de poulet de chair en 2012 (Source : Agreste, 2013 et FranceAgriMer, 2013)

Figure 2 : Productions européennes et françaises d'aliment pour volaille et pour poulet de chair en 2013 (Source : SNIA, 2014)

Figure 3 : Structure d'une molécule de phytate, sel mixte d'acide phytique (Source : Narcy et al., 2009)

Figure 4 : Relation entre l'apport de phosphore total et le GMQ et entre l'apport de phosphore total et l'IC pour des poulets de souche Ross PM3 en phase croissance et sans apport de phytase (Sources : Altilis, 2012 ; Aureli et al., 2013 ; Magnin et al., 2009 ; Preynat et al., 2013 ; Rousseau et al., 2013)

Figure 5 : Relation entre l'apport de calcium et le GMQ et entre l'apport de calcium et l'IC pour des poulets de souche Ross PM3 en phase croissance et sans apport de phytase (Sources : Altilis, 2012 ; Aureli et al., 2013 ; Magnin et al., 2009 ; Preynat et al., 2013 ; Rousseau et al., 2013)

Figure 6 : Relation entre l'apport de phosphore total et la force maximale du tibia pour des poulets de souche Ross PM3 de 23 jours (Source : Altilis, 2012)

Figure 7 : Localisation et vues extérieure et intérieure de la station expérimentale

Figure 8 : Equipement des cases durant la phase démarrage et durant les phases suivantes

Figure 9 : Aspect des 3 types d'aliment

Figure 10 : L'attribution des 5 régimes aux différentes cases

Figure 11 : Interventions durant l'essai

Figure 12 : Mesure de la force maximale et de la rigidité d'un tibia (Source : Zootests)

Figure 13 : Effet du régime sur le poids à 21 jours, le GMQ et l'IC entre 10 et 21 jours





## Liste des tableaux

Tableau 1 : Recommandations pour les apports de phosphore et de calcium en poulet de chair en fonction du stade physiologique (Sources : Aviagen, 2009 ; Cobb, 2012 ; Hubbard, 2009 ; INRA, 1989 ; Larbier et Leclercq, 1992 ; NRC, 1994)

Tableau 2 : Teneur en phosphore total et part du phosphore sous forme phytique de quelques matières premières (Source : INRA-AFZ, 2004)

Tableau 3 : Teneurs en minéraux (%) et digestibilité de différentes sources de phosphore (Sources : Altilis, 2011 ; Bleukx, 2005 ; INRA, 1989 ; Timab, 2013)

Tableau 4 : Valeurs biologiques relatives des principaux phosphates (Source : INRA-AFZ, 2004)

Tableau 5 : Composition en calcium de différentes matières premières (Source : INRA, 1989)

Tableau 6 : Paramètres tibiaux de poulets de souche Ross PM3 sans apport de phytase (Sources : Altilis, 2012 ; Aureli et al., 2013 ; Preynat et al., 2013 ; Rousseau et al., 2013)

Tableau 7 : Résultats d'analyse des aliments (en % de l'aliment) et écarts tolérés pour les indications d'étiquetage (Source : Journal officiel de l'UE, 2010)

Tableau 8 : Performances zootechniques des animaux

Tableau 9 : Longueur, diamètre et poids des tibias à 22 et 34 jours

Tableau 10 : Force maximale, rigidité et teneur en cendres des tibias à 22 et 34 jours

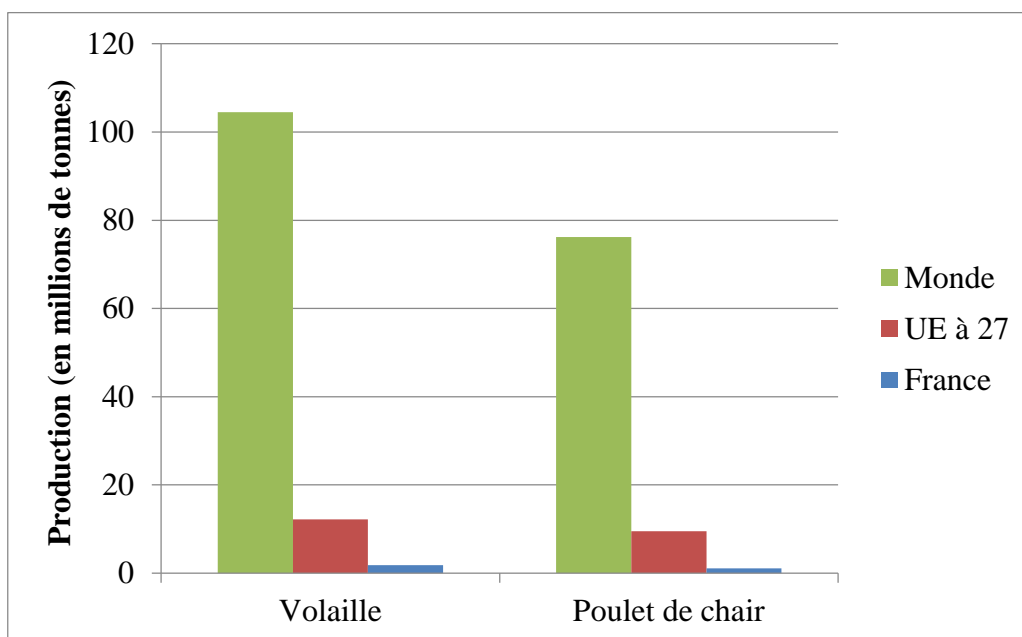


Figure 1 : Productions mondiales, européennes et françaises de volaille et de poulet de chair en 2012 (Sources : Agreste, 2013 et FranceAgriMer, 2013)

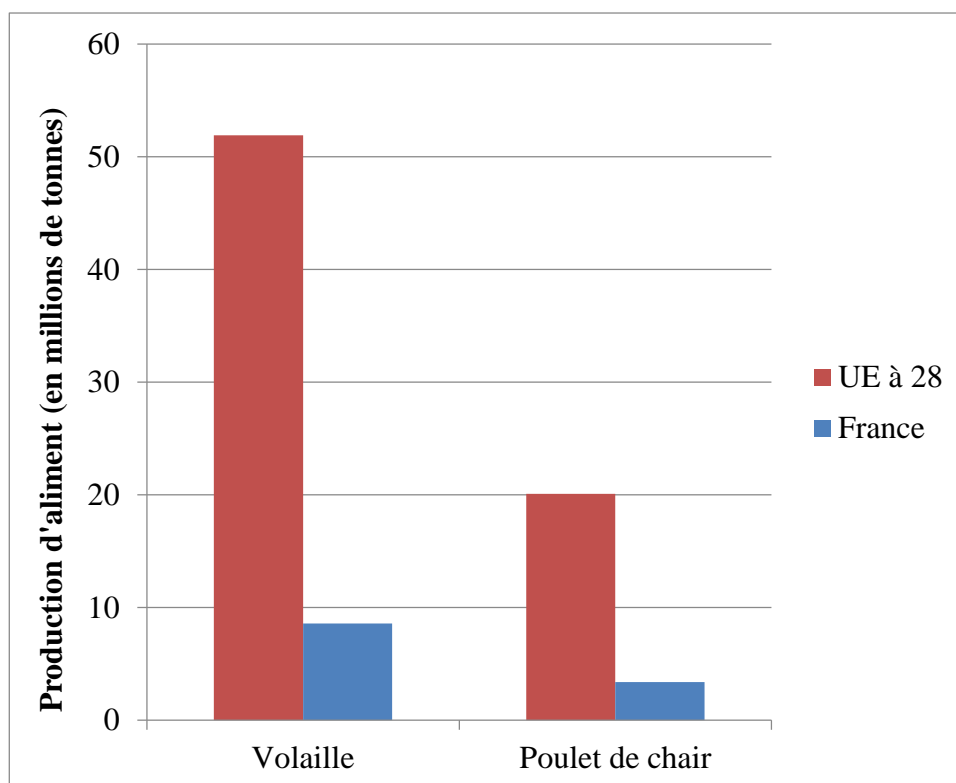


Figure 2 : Productions européennes et françaises d'aliment pour volaille et pour poulet de chair en 2013 (Source : SNIA, 2014)

## Introduction

La production mondiale de volailles en 2012 s'élève à plus de 100 millions de tonnes (FranceAgriMer, 2013). Au sein de cette production, la France fournit 1,85 million de tonnes dont 1,09 million pour le poulet de chair (Agreste, 2013) ([Figure 1](#)). La France se place en tête de l'Union Européenne (UE) pour la production de volaille et à la troisième place derrière le Royaume-Uni et la Pologne pour la production de poulet (FranceAgriMer, 2013). L'alimentation doit donc être produite en conséquence. La production nationale d'aliment pour l'élevage avicole s'élève à 8,6 millions de tonnes en 2013 dont 39 % sont destinés aux poulets ([Figure 2](#)). Dans l'Union Européenne qui produit plus de 50 millions de tonnes d'aliment pour volailles, la France se trouve à la deuxième place derrière l'Allemagne. La production française a augmenté de 1,6 % de 2012 à 2013 (SNIA, 2014).

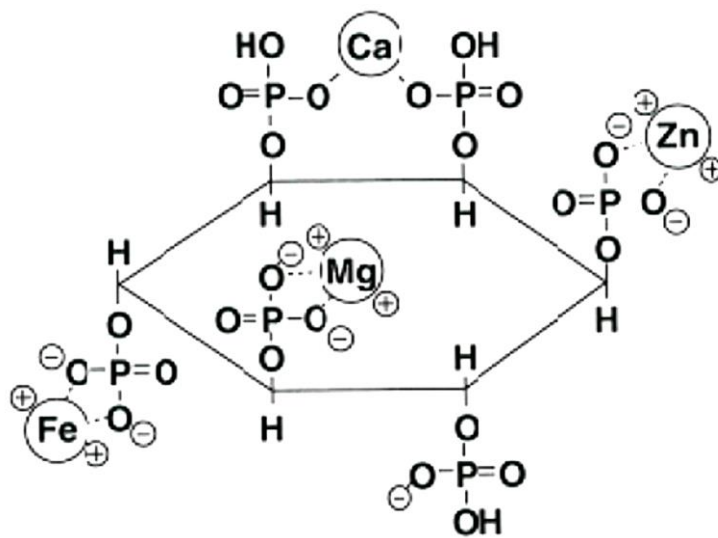
Etant un levier d'action important pour améliorer les performances zootechniques des animaux, l'alimentation occupe une place prépondérante au sein de la filière avicole. De nombreux progrès en génétique et en nutrition ont été réalisés durant ces dernières décennies. Ils permettent aujourd'hui des croissances très rapides des poulets de chair (Barreiro, 2011). Toutefois, les animaux sélectionnés pour leur rapidité de croissance et leur efficacité alimentaire importante présentent de nombreuses pathologies au niveau de leur squelette. Afin de diminuer les taux de mortalité en élevage, en partie impactés par les troubles osseux, il est important d'améliorer la minéralisation du squelette. Pour atteindre cet objectif, l'optimisation de la nutrition minérale des poulets de chair est donc primordiale. Les besoins nutritionnels en minéraux des volailles sont nombreux et variés mais, pour l'aspect osseux, ce sont principalement le phosphore (P) et le calcium (Ca) qui entrent en jeu (Underwood et Suttle, 1999). Il est donc important que les apports en ces deux macroéléments ne soient pas limitants. Toutefois, il ne faut pas non plus rechercher l'excès qui peut conduire à des problèmes de toxicité et de rejets dans l'environnement.

Sur le marché des matières premières, il existe de nombreuses formes d'apport de phosphore et de calcium utilisables pour la nutrition animale. Les phosphates en sont un exemple : ils sont toujours composés de phosphore, parfois aussi de calcium et de d'autres minéraux (Atilis, 2011 ; Timab, 2013). Les fournisseurs de phosphates développent toujours de nouveaux produits afin de répondre aux besoins des animaux.

Il est important pour une firme service d'avoir une matrice de formulation à jour au niveau de toutes ces nouvelles matières premières. L'étude consistera donc à valider la matrice de formulation de MG2MIX en s'intéressant à deux phosphates : le phosphate défluoré (DFP) et le phosphate Neophos. Le phosphate bicalcique, dont les caractéristiques sont bien connues, sera utilisé pour l'aliment témoin. Les nouveaux phosphates ont été caractérisés dans la matrice du logiciel de formulation utilisé par MG2MIX à partir des indications communiquées par les fournisseurs. L'essai vise à vérifier que la matrice est correcte au niveau des phosphates. Etant donné que les régimes sont voulus identiques au niveau des apports nutritionnels, si les phosphates ont été bien caractérisés dans la matrice, il n'y aura pas de différence de performances zootechniques ni de différence de minéralisation osseuse entre les trois régimes. Cela permettra donc indirectement de vérifier les données apportées par les fournisseurs.

Dans un premier temps, il s'agira de faire un point bibliographique sur les besoins en phosphore et en calcium des poulets de chair. Puis, un essai comparant des régimes composés de phosphate bicalcique (DCP), de phosphate défluoré ou de phosphate Neophos sera mis en place et analysé. Enfin, nous discuterons les résultats de l'essai, ses limites et les perspectives pour une suite de cette étude.

D'autres travaux ont été réalisés durant ce stage mais ils ne seront pas abordés dans ce mémoire.



**Figure 3** : Structure d'une molécule de phytate, sel mixte d'acide phytique (Source : Narcy et al., 2009)

## Partie 1 : Les besoins en phosphore et en calcium des poulets de chair en lien avec leur statut locomoteur

Cette partie permettra de s'intéresser aux besoins en phosphore et en calcium des poulets de chair standards en lien avec leur statut locomoteur. S'intéresser aux besoins en un minéral des volailles peut se diviser en trois points : la quantité nécessaire, la forme la plus intéressante et le critère dont l'optimisation est recherchée. Cette partie va donc s'articuler en trois temps. Tout d'abord, nous nous intéresserons aux besoins nutritionnels des poulets de chair au niveau du phosphore et du calcium. Puis, nous aborderons l'importance des matières premières du point de vue minéral. Enfin, nous détaillerons les effets des apports de phosphore et de calcium sur les performances et sur le statut locomoteur des poulets de chair.

### 1. Les besoins nutritionnels en phosphore et en calcium des poulets de chair

Les poulets de chair ont des besoins en phosphore et en calcium majoritairement pour leur croissance osseuse. En effet, le phosphore et le calcium sont les constituants de l'hydroxyapatite, principale composante minérale des os dont la formule chimique est  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$ . Ils sont donc des acteurs majeurs du processus de minéralisation osseuse. Il s'agira, dans cette première partie, de présenter les quantités dont les animaux ont besoin en phosphore et en calcium selon leur stade physiologique.

#### 1.1. Le phosphore

##### 1.1.1. Présentation générale

Le phosphore alimentaire peut être d'origine végétale ou d'origine minérale. Dans les végétaux, 45 à 85 % du phosphore est stocké sous forme phytique (Tran et Skiba, 2005). Le phosphore restant est non phytique et sous forme de phosphoprotéines, phospholipides et nucléoprotéines. Le phytate ou sel mixte d'acide phytique est donc la forme majoritaire du phosphore dans les végétaux. Ce sel insoluble est composé d'un acide phytique, appelé *myo*-inositol hexaphosphate, et de cations comme les ions calcium  $\text{Ca}^{2+}$  (Narcy et al., 2009) (Figure 3). Le problème de cette forme du phosphore pour l'alimentation des volailles est que ces animaux ne disposent pas de phytases, les enzymes permettant la déphosphorylation des phytates. La majorité du phosphore d'origine végétale n'est donc pas utilisable par les volailles. Il existe des phytases naturellement présentes dans les végétaux mais elles sont très variables en quantité et en qualité donc difficilement valorisables en alimentation des volailles. De plus, étant un piège à cations et donc à  $\text{Ca}^{2+}$  (Figure 3), le phytate inhibe l'absorption de ces ions. Le phosphore d'origine minérale est donc indispensable en alimentation des volailles. Il peut être qualifié de phosphore non phytique (PNP). On le trouve sous différentes formes comme les phosphates bi-, mono- et monobi-calciques. La disponibilité en phosphore varie d'une forme de phosphate à l'autre. Ce paramètre est donc un moyen de sélectionner les matières premières à utiliser pour la supplémentation en phosphore.

**Tableau 1** : Recommandations pour les apports de phosphore et de calcium en poulet de chair en fonction du stade physiologique (Sources : Aviagen, 2009 ; Cobb, 2012 ; Hubbard, 2009 ; INRA, 1989 ; Larbier et Leclercq, 1992 ; NRC, 1994)

		Démarrage	Croissance	Finition
INRA (1989)	Ca (g/kg)	11,0	10,0	9,0
	P total (g/kg)	7,0	6,9	6,4
	Ca : P total	1,6	1,4	1,4
	P disp (g/kg)	4,5	4,4	3,8
	Ca : P disp	2,4	2,3	2,4
Larbier et Leclercq (1992)	Ca (g/kg)	10,0	9,0	9,0
	P disp (g/kg)	4,2	3,8	3,8
	Ca : P disp	2,4	2,4	2,4
NRC (1994)	Ca (g/kg)	10,0	9,0	8,0
	PNP (g/kg)	4,5	3,5	3,0
	Ca : PNP	2,2	2,6	2,7
Synthèse Aviagen (2009), Hubbard (2009) et Cobb (2012)	Ca (g/kg)	10,3	9,2	8,6
	P disp (g/kg)	4,9	4,4	4,1
	Ca : P disp	2,1	2,1	2,1
	P dig (g/kg)	4,1	3,4	2,8
	Ca : P dig	2,5	2,7	3,1

Remarque : Ces recommandations correspondent à une énergie métabolisable de 3200 kcal/kg.

Le besoin en phosphore des poulets de chair correspond à l'apport de phosphore permettant de maximiser les performances zootechniques et la minéralisation osseuse. Au sein de l'organisme des volailles, le phosphore est présent dans tous les tissus et a de nombreuses fonctions qui sont principalement structurales, avec sa présence dans les os et les membranes cellulaires, ou de régulations. En effet, 80 % du phosphore de l'organisme se trouve dans le squelette (Narcy et al., 2009). Cela atteste de son importance dans le processus de minéralisation osseuse. Une carence phosphorée provoque une perte d'appétit influant sur les performances et les fonctions de reproduction des animaux ainsi qu'une détérioration de la minéralisation osseuse conduisant à des troubles locomoteurs et des risques de fractures. L'excès peut également occasionner divers troubles comme la dyschondroplasie tibiale (Underwood et Suttle, 1999), une pathologie dont les syndromes sont la réduction des déplacements et des animaux qui restent assis sur leurs talons.

#### 1.1.2. Les besoins des poulets de chair

En alimentation du poulet de chair, les recommandations en phosphore sont calculées pour couvrir exactement les besoins. D'après les recommandations INRA (1989), le besoin des poulets de chair en phosphore total est de 7,0 g/kg d'aliment en phase démarrage, 6,9 g/kg en phase croissance et 6,4 g/kg en phase finition. Ce besoin diminue au fur et à mesure que l'animal croît. Une bonne maîtrise de cette composante de l'alimentation est donc nécessaire. On observe les mêmes évolutions pour le phosphore disponible et pour le phosphore digestible (Tableau 1).

Une des difficultés rencontrées dans la recherche sur les besoins en phosphore est l'utilisation de plusieurs paramètres comme le phosphore disponible (P disp) et le phosphore digestible (P dig). La conversion de l'un à l'autre est compliquée. Le phosphore digestible est une valeur mesurée, obtenue par différence entre le phosphore ingéré et le phosphore excrété alors que le phosphore disponible est exprimé relativement à un phosphate de référence considéré comme 100 % disponible. Le phosphate de référence peut être le phosphate monosodique (MSP), le phosphate monocalcique (MCP) ou le phosphate bicalcique (DCP).

### 1.2. Le calcium

#### 1.2.1. Présentation générale

Le calcium est le minéral le plus abondant dans l'organisme des volailles et se trouve pour 99 % dans le squelette. Il est donc extrêmement important pour la minéralisation osseuse. La principale fonction du calcium est de fournir un cadre solide et articulé d'une part pour soutenir et protéger les organes délicats et d'autre part pour permettre le mouvement (Underwood et Suttle, 1999). Le calcium peut être apporté aux animaux sous différentes formes comme les carbonates de calcium, les phosphates de calcium et les pidolates de calcium.

#### 1.2.2. Les besoins des poulets de chair

D'après les recommandations INRA (1989), le besoin des poulets de chair en calcium est de 11,0 g/kg d'aliment en phase démarrage, 10,0 g/kg en croissance et 9,0 g/kg en finition. Tout comme pour le phosphore, le besoin en calcium par kg d'aliment diminue durant la vie de l'animal. Toutefois, plus l'animal croît et plus les quantités d'aliment ingérées augmentent. Selon les références, les recommandations varient légèrement (Tableau 1) mais restent assez proches des valeurs données par l'INRA.





### 1.3. Interdépendance des apports de phosphore et de calcium

L'absorption du calcium par l'animal dépend fortement de la teneur en phosphore de l'aliment et inversement. Il est donc nécessaire d'apporter de façon conjointe et équilibrée ces deux éléments pour une bonne croissance de l'os. D'après les recommandations INRA (1989), un ratio Ca:P total de 1,6 en démarrage et de 1,4 en croissance et en finition permet d'optimiser les performances. D'après une méta-analyse réalisée par Narcy et al. (2009), le ratio Ca:P est un élément clé dans l'alimentation minérale du poulet de chair. En effet, dans des régimes bas en phosphore, une quantité trop élevée de calcium a un effet négatif sur les performances de croissance et sur la minéralisation osseuse. Un équilibre d'apport entre P et Ca doit être trouvé de façon à maintenir un bon niveau de performances et une minéralisation osseuse suffisante. L'augmentation du ratio entre le calcium et le phosphore peut dégrader la consommation et la croissance. Le ratio Ca:P étant un critère très sensible, il peut être utilisé comme guide de formulation du phosphore et du calcium.

D'après une méta-analyse de Létourneau-Montminy et al. (2010) regroupant 203 traitements avec des poulets de chair entre 0 et 21 jours, des apports de phosphore total et de calcium respectivement de 5,6 et 9,2 g/kg (rapport Ca:P total de 1,6) conduisent à un gain moyen quotidien (GMQ) de 29,4 g/j et à un indice de consommation (IC) de 1,51.

**Tableau 2** : Teneur en phosphore total et part du phosphore sous forme phytique de quelques matières premières (Source : INRA-AFZ, 2004)

Matière première	P total (g/kg)	P phytique (% du P total)	P non phytique (g/kg)	Activité phytasique (UI/kg)
Maïs	2,6	75	0,7	20
Blé	3,2	65	1,1	460
Seigle	3,0	65	1,1	5350
Orge	3,4	55	1,5	540
Son de blé	9,9	80	2,0	1770
Pois	4,0	45	2,2	130
Tourteau de soja 48	6,2	60	2,5	20
Tourteau de colza	11,4	60	4,6	10

**Tableau 3** : Teneurs en minéraux (%) et digestibilité de différentes sources de phosphore (Sources : Altilis, 2011 ; Bleukx, 2005 ; INRA, 1989 ; Timab, 2013)

		Formule	P total	Digestibilité volailles (%)	P digestible	Ca	Na	Mg
Phosphates	monosodique	NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	25,0				19,0	
	monoammonique	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	21,3					
	monocalcique	Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O	22,9	84,0	19,2	16,0		
	monobicalcique	CaHPO <sub>4</sub> / Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ), 2H <sub>2</sub> O	21,9	83,0	18,2	21,0		
	bicalcique anhydre	CaHPO <sub>4</sub>	18,0 - 20,2	70,0	12,6 - 14,1			
	bicalcique cristallin dihydraté	CaHPO <sub>4</sub> , 2 H <sub>2</sub> O	18,2	80,0	14,6	23,0		
	<b>DFP</b>	Na <sub>2</sub> Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>4</sub>	18,0	59,0	10,6	31,0	5,5	1,3
	<b>Neophos</b>		20,0			20,0	5,5	
Sources animales	Farine d'os non traitée		11,2			23,5	0,6	0,2
	Farine d'os dégelatinée		14,1			30,7	0,5	0,8

## 2. Les matières premières intéressantes pour les apports de phosphore et de calcium

Les besoins des volailles en phosphore et en calcium sont indéniables. Il est donc nécessaire d'y subvenir grâce à l'alimentation. Il s'agira ici d'identifier les formes d'apport de phosphore et de calcium les plus intéressantes pour la formulation des aliments.

### 2.1. Le statut minéral des principales matières premières

La teneur en phosphore total et la part de phosphore sous forme de phytate sont des exemples de paramètres qui varient entre les matières premières. En effet, entre du maïs et du blé, la teneur en phosphore total est du même ordre de grandeur mais le maïs a une part de phosphore sous forme phytique plus importante et une activité phytasique plus faible que le blé (Tableau 2). Il y aura donc plus de phosphore utilisable par les animaux dans le blé que dans le maïs. La disponibilité du phosphore pour la minéralisation osseuse est ainsi très variable entre les matières premières. Sauveur (1989) confirme cela en montrant que le blé, le seigle et l'orge ont des disponibilités supérieures à 50 % alors que le maïs et le tourteau de soja n'apportent que 20 % de phosphore disponible.

Pour la minéralisation osseuse, la disponibilité en phosphore des matières premières est estimée en comparant l'efficacité relative obtenue avec du phosphore minéral avec l'efficacité relative pour la minéralisation osseuse obtenue avec la matière première à étudier. La mesure utilisée pour approcher la minéralisation osseuse est la teneur en cendres du tibia ou des doigts. Une relation est établie au préalable entre cette mesure et la quantité de phosphore minéral apporté par l'alimentation (INRA, 1989).

### 2.2. Les matières premières intéressantes

#### 2.2.1. Les phosphates, sources de phosphore

Les phosphates font partie des matières premières permettant de satisfaire les besoins en phosphore des volailles. Les types de phosphates à disposition des nutritionnistes sont nombreux. Ils diffèrent au niveau des procédés d'obtention, au niveau de leur composition (Tableau 3) et au niveau de leur qualité pour une utilisation en alimentation animale. Il y a notamment les valeurs biologiques relatives de ces différentes formes qui varient. Par exemple, le phosphate monocalcique est plus intéressant que le phosphate bicalcique pour une utilisation en alimentation animale (Tableau 4).

En réponse à une utilisation croissante de la phytase et à une réduction des normes d'apport de phosphore en alimentation animale, la consommation des phosphates alimentaires dans l'Union Européenne a diminué. Face à cette situation, les fournisseurs de phosphates alimentaires ont dû axer leur travail sur la qualité nutritionnelle de leurs produits. Une haute qualité des phosphates correspond à des propriétés physico-chimiques stables et précises, à une bonne solubilité du phosphore et à une teneur aussi basse que possible en substances indésirables. Ces phosphates sont en outre caractérisés par une digestibilité élevée du phosphore réduisant au minimum le phosphore excrété dans l'environnement sans mettre en danger la santé, la production et le bien-être des animaux. En outre, seules les sociétés disposant d'une certification de garantie de qualité et de systèmes de traçabilité mis en application peuvent assurer une production de phosphates alimentaires de haute qualité, assurant la sécurité de l'alimentation animale. Les inconvénients à l'ajout de phosphore minéral sont d'une part le risque de pollution s'il est apporté en excès et d'autre part l'augmentation du coût du phosphore minéral en raison d'une concurrence avec son utilisation comme engrais et à cause d'une raréfaction des ressources mondiales.

Tableau 4 : Valeurs biologiques relatives des principaux phosphates (Source : INRA-AFZ, 2004)

Source	Valeur biologique relative (%)
Phosphate monosodique	100
Phosphate monocalcique	91
Phosphate bicalcique hydraté	85
Phosphate bicalcique anhydre	76
Phosphate monobicalcique	80

Tableau 5 : Composition en calcium de différentes matières premières (Source : INRA, 1989)

	Carbonate de calcium	Chlorure de calcium anhydre	Sulfate de calcium	Coquillages marins	Coquilles d'œufs	Cendres de couvoir
Ca (%)	38	36	29,4	35	35	37,6

Dans l'Union Européenne, 60 % de la consommation de phosphates alimentaires correspond à du phosphate bicalcique (Bleukx, 2005). Les apports de ce phosphate pour les poulets de chair sont bien connus. Mais il existe d'autres phosphates disponibles pour l'alimentation des poulets de chair comme le phosphate DFP et le phosphate Neophos qui ont été moins étudiés que le phosphate bicalcique :

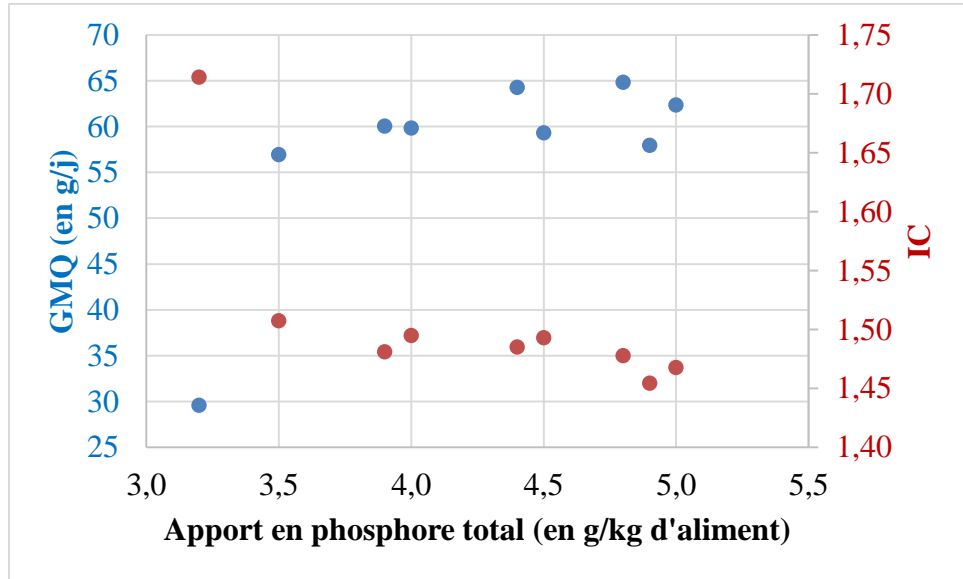
- le phosphate DFP est un phosphate calco-sodique d'origine minérale obtenu à partir du phosphate roc de la péninsule de Kola en Russie, après une calcination à plus de 1250°C dans un four rotatif avec addition d'acide phosphorique et de soude. Il comprend 18,5 % de P, 31 % de Ca et 5,5 % de Na (Atilis, 2011 et 2012).

- le phosphate Neophos est également un phosphate calco-sodique : 20 % de P, 20 % de Ca et 5,5 % de Na (Timab, 2013).

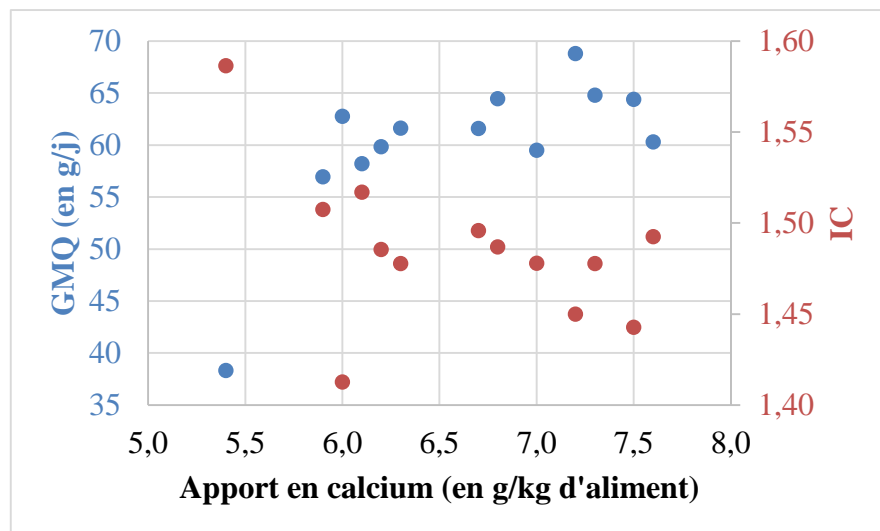
### 2.2.2. Les sources de calcium

En alimentation animale, le calcium est généralement apporté par du carbonate de calcium. Il existe toutefois d'autres sources comme le chlorure, le sulfate et le pidolate de calcium mais aussi les coquillages marins, les coquilles d'œufs et les cendres de couvoir (INRA, 1989). La teneur en calcium de ces matières premières est variable (Tableau 5). Il y a également des différences importantes au niveau du prix de ces sources de calcium.

Le choix pour apporter le phosphore et le calcium aux poulets de chair est donc assez vaste. Un des critères permettant de trancher est le prix. Plus précisément, il faut décider si l'amélioration des conséquences zootechniques justifie l'augmentation du prix.



**Figure 4** : Relation entre l'apport de phosphore total et le GMQ et entre l'apport de phosphore total et l'IC pour des poulets de souche Ross PM3 en phase croissance et sans apport de phytase (Sources : Altilis, 2012 ; Aureli et al., 2013 ; Magnin et al., 2009 ; Preynat et al., 2013 ; Rousseau et al., 2013)



**Figure 5** : Relation entre l'apport de calcium et le GMQ et entre l'apport de calcium et l'IC pour des poulets de souche Ross PM3 en phase croissance et sans apport de phytase (Sources : Altilis, 2012 ; Aureli et al., 2013 ; Magnin et al., 2009 ; Preynat et al., 2013 ; Rousseau et al., 2013)

### 3. Les effets du phosphore et du calcium sur les performances et sur le statut locomoteur

Différentes fonctions physiologiques peuvent, chez un même animal, requérir des apports de phosphore et de calcium différents. Il est donc important de savoir à quoi on s'intéresse. Dans cette troisième partie, il sera question des deux critères dont l'optimisation est recherchée en alimentation des volailles : les performances et le statut locomoteur.

#### 3.1. Les impacts sur les performances

##### 3.1.1. Le phosphore

Les performances de croissance des animaux sont liées au métabolisme des minéraux et plus spécialement au métabolisme du calcium et à celui du phosphore. Le métabolisme du phosphore est affecté par la quantité et la source de phosphore alimentaire, l'âge, la quantité de calcium alimentaire, le ratio Ca:P et l'activité phytasique (Al-Masri, 1995).

Des apports de phosphore plus élevés que les recommandations peuvent améliorer légèrement les performances (INRA, 1989). De la même façon, la [figure 4](#) semble montrer que, chez des poulets de chair de souche Ross PM3 en phase croissance et sans apport de phytase, une augmentation de l'apport de phosphore total de 3,0 à 5,0 g/kg d'aliment conduit à une légère augmentation du GMQ et à une légère diminution de l'IC. Mais ces faibles améliorations de performances ne justifient pas forcément l'augmentation du coût de l'aliment causé par l'augmentation de l'apport de phosphore total. De plus, les rejets de phosphore par les animaux sont un des problèmes environnementaux rattaché à l'élevage. L'amélioration des performances n'est donc pas le seul critère à prendre en compte lorsque l'on raisonne l'apport de phosphore en alimentation du poulet de chair.

Selon Narcy et al. (2009), chez des poulets de chair nourris jusqu'à 21 jours avec un aliment à base de maïs et tourteau de soja, pour un apport de calcium de 6,0 g/kg, une augmentation de l'apport de phosphore non phytique (PNP) de 1,5 à 3,5 g/kg conduit à une augmentation du GMQ de 22,5 à 32,9 g/j et à une réduction de l'IC de 1,52 à 1,41. Pour un apport de calcium de 10,0 g/kg, la même augmentation de l'apport de phosphore a les mêmes impacts sur le GMQ et l'IC (respectivement de 17,3 à 30,2 g/j et de 1,73 à 1,47).

##### 3.1.2. Le calcium

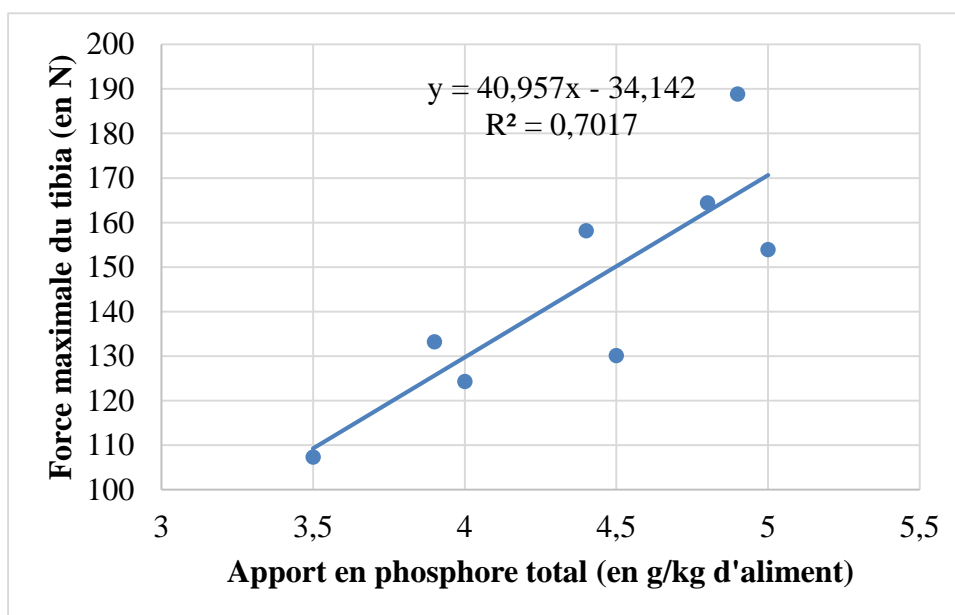
Selon Narcy et al. (2009), pour un apport de PNP de 1,5 g/kg, une augmentation de l'apport de calcium de 6 à 10 g/kg conduit à une détérioration du GMQ et de l'IC (respectivement 22,5 à 17,3 g/j et 1,52 à 1,73). Pour un apport de PNP de 3,5 g/kg, une augmentation de l'apport de calcium de 6 à 10 g/kg conduit à une diminution du GMQ de 32,9 à 30,2 g/j et à une augmentation de l'IC de 1,41 à 1,47.

De plus, une augmentation de l'apport de calcium de 5 à 8 g/kg d'aliment semble légèrement améliorer le GMQ et l'IC ([Figure 5](#)).



**Tableau 6** : Paramètres tibiaux de poulets de souche Ross PM3 sans apport de phytase  
 (Sources : Atilis, 2012 ; Aureli et al., 2013 ; Preynat et al., 2013 ; Rousseau et al., 2013)

	21-23 jours	34-38 jours
Poids tibia (g)	2,9	8,0
Écartype de Poids tibia (g)	0,2	0,3
[cendres tibiales] (%MS)	36,0	32,8
Écartype de [cendres tibiales] (%MS)	3,2	2,6
Force maximale (N)	149	298
Écartype de Force maximale (N)	31	22



**Figure 6** : Relation entre l'apport de phosphore total et la force maximale du tibia pour des poulets de souche Ross PM3 de 23 jours (Source : Atilis, 2012)

### 3.1.3. Le phosphate défluoré et le phosphate Neophos

Un essai comparant les effets du phosphate défluoré et du phosphate bicalcique sur des poulets de souche Ross PM3 entre 10 et 23 jours montre que la disponibilité en phosphore du DFP est inférieure à celle du DCP en l'absence de phytase. C'est le contraire en présence de phytase (Phyzyme à 500 FTU/kg d'aliment). Avec des apports respectifs en P total et en Ca de 4,5 g/kg et 7,0 g/kg, l'utilisation de DFP conduit à un GMQ de 59,5 g/j et un IC de 1,48. L'ajout de phytase entraîne une amélioration des performances. Le GMQ et l'IC sont alors respectivement de 68,3 g/j et 1,44 (Altilis, 2012). Selon Yonemochi et al. (2000), une utilisation de DFP (P total : 6,0 g/kg et Ca : 9,0 g/kg) donne un GMQ de 24 g/j et un IC de 1,72 sur la période 7-21 jours. En présence de phytase (issue d'*Aspergillus niger* à 500 FTU/kg), un GMQ de 32 g/j et un IC de 1,56 sont obtenus.

D'après Timab (2013), des poulets de souche Ross auxquels de l'aliment comprenant du phosphate Neophos est apporté (P total : 4,8 g/kg et Ca : 7,5 g/kg) ont un GMQ de 52,7 g/j et un IC de 1,45 durant la période 9-22 jours.

## 3.2. Les impacts sur le statut locomoteur

Un des moyens d'approcher le statut locomoteur des poulets de chair est l'analyse des tibias. La teneur en cendres et la force maximale des tibias sont les deux mesures les plus répandues pour estimer la minéralisation osseuse chez les animaux.

### 3.2.1. La minéralisation osseuse chez les poulets de chair

Le tableau 6 synthétise quelques données tibiales provenant de plusieurs articles scientifiques concernant des poulets de chair de souche Ross PM3. Ainsi, on observe que le poids et la force maximale des tibias augmentent avec l'âge des poulets de chair. L'évolution de la teneur en cendres des tibias est moins nette. Barreiro et al. (2011) montrent que la force maximale évolue de la même façon chez des poulets de chair de souche Cobb (24 N à 8 jours, 157 N à 22 jours et 234 N à 42 jours). D'après Shim et al. (2012), dans un même lot de poulets, les animaux ayant la croissance la plus rapide ont des os plus longs, plus larges, plus lourds, plus solides, plus denses et contenant plus de cendres que les poulets ayant la croissance la plus lente.

### 3.2.2. Le phosphore

Une augmentation de la teneur en phosphore non phytique de 3,5 à 5,0 g/kg d'aliment améliore le développement osseux (Coto et al., 2008) et a donc un impact positif sur le statut locomoteur. Une étude réalisée par Altilis (2013) montre qu'une augmentation de l'apport de phosphore total de 3,5 à 5,0 g/kg chez des poulets de souche Ross PM3 entraîne une augmentation de la force maximale des tibias de 110 à 170 N (Figure 6). De plus, pour la souche Arbor Acres, une augmentation de l'apport de phosphore total de 6,0 à 7,5 g/kg d'aliment provoque une amélioration de la concentration en cendres du tibia de 38,5 à 53,1 % de matière sèche (Yonemochi et al., 2000). L'apport de phosphore total a donc un impact sur la solidité osseuse.



### 3.2.3. Le calcium

D'après Magnin et al. (2013), une réduction de calcium (de 11,0 à 9,5 g/kg en démarrage ; de 7,5 à 6,0 g/kg en croissance et de 6,0 à 3,8 g/kg en finition) n'a pas d'effet significatif sur les performances de croissance ou sur les caractéristiques tibiales. Cette expérimentation montre que les réponses des deux souches (Ross PM3 et JA 987) et des deux sexes sont proches. Toutefois, une forte réduction du calcium lié à une réduction du phosphore non phytique conduit à des os moins minéralisés et moins résistants à la fracture (Magnin et al, 2013).

### 3.2.4. Le phosphate défluoré et le phosphate Neophos

Avec les mêmes apports en P total et en Ca que dans le 3.1.3, Altilis arrive à des teneurs en cendres tibiales de 34,2 % sans phytase et de 38,2 % avec apport de phytase pour des animaux âgés de 23 jours. Les forces maximales des tibias sont respectivement de 121 N et de 182 N. Pour des poulets de 21 jours, Yonemochi et al. (2000) obtiennent des teneurs en cendres tibiales de 38,5 % sans phytase et 50,9 % avec phytase.

L'utilisation de phosphate Neophos dans un essai communiqué par Timab (2013) conduit à une teneur en cendres tibiales de 35,9 % et à une force maximale des tibias de 140 N pour des poulets âgés de 22 jours.



Figure 7 : Localisation et vues extérieure et intérieure de la station expérimentale



Figure 8 : Equipement des cases durant la phase démarrage et durant les phases suivantes

## **1. Matériel et méthodes**

### **1.1. Présentation de la station expérimentale**

L'essai s'est déroulé du 29 avril au 2 juin 2014 dans la station expérimentale volaille de MG2MIX située sur l'exploitation de M. et Mme Desille au lieu-dit Le Sauvé à Domalain (35) (Figure 7).

#### **1.1.1. Bâtiment**

C'est un bâtiment de type clair, avec une ventilation statique, équipé d'un lanterneau et de volets latéraux obscurcissant (Figure 7). Sa surface utile est de 450 m<sup>2</sup>. Il est organisé en 40 cases grillagées réparties en 2 longueurs de 20 cases. La surface de chaque case est de 6 m<sup>2</sup> en sol bétonné, recouvert d'une litière composée de copeaux de bois renouvelés régulièrement.

#### **1.1.2. Animaux**

5080 poulets de souche Ross PM3, provenant du couvoir Perrot, sont répartis de façon homogène et aléatoire dans chacune des cases avec 50 % de mâles et 50 % de femelles. Il y a donc 127 poulets par case avec une densité de 21,2 poulets par m<sup>2</sup>.

Les animaux sont vaccinés à 18 jours contre la bronchite infectieuse du poulet par nébulisation et contre la maladie de Gumboro par dilution dans l'eau de boisson. Du réhydratant est également ajouté à l'eau de boisson durant les premiers jours pour remédier au stress hydrique du transport et inciter les poussins à boire. A 21 jours, un prélèvement de fientes est effectué à l'aide de pédichiffonnettes pour contrôler s'il y a une présence de salmonelles afin de répondre à une exigence réglementaire de l'abattoir.

#### **1.1.3. Equipement et conditions expérimentales**

Chacune des cases est équipée d'un abreuvoir et d'une trémie d'alimentation (Figure 8). Durant la phase de démarrage, l'équipement n'est pas le même : des assiettes et du papier granuleux pour l'aliment, des petits abreuvoirs pour l'eau et un radiant afin de maintenir une température adéquate (Figure 8). La distribution d'eau est automatique mais la distribution d'aliment est réalisée manuellement par l'éleveur. Les animaux sont nourris *ad libitum*. Le programme lumineux et la température sont ajustés en accord avec les recommandations issues de la littérature et du sélectionneur.



Démarrage

Croissance

Finition

Figure 9 : Aspect des 3 types d'aliment

CASE	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
REGIME	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3		4	5	3	1	2	4	5	3	1	2

CASE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
REGIME	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		2	4	1	5	3	2	4	1	5	3

Figure 10 : L'attribution des 5 régimes aux différentes cases (8 cases par régime)

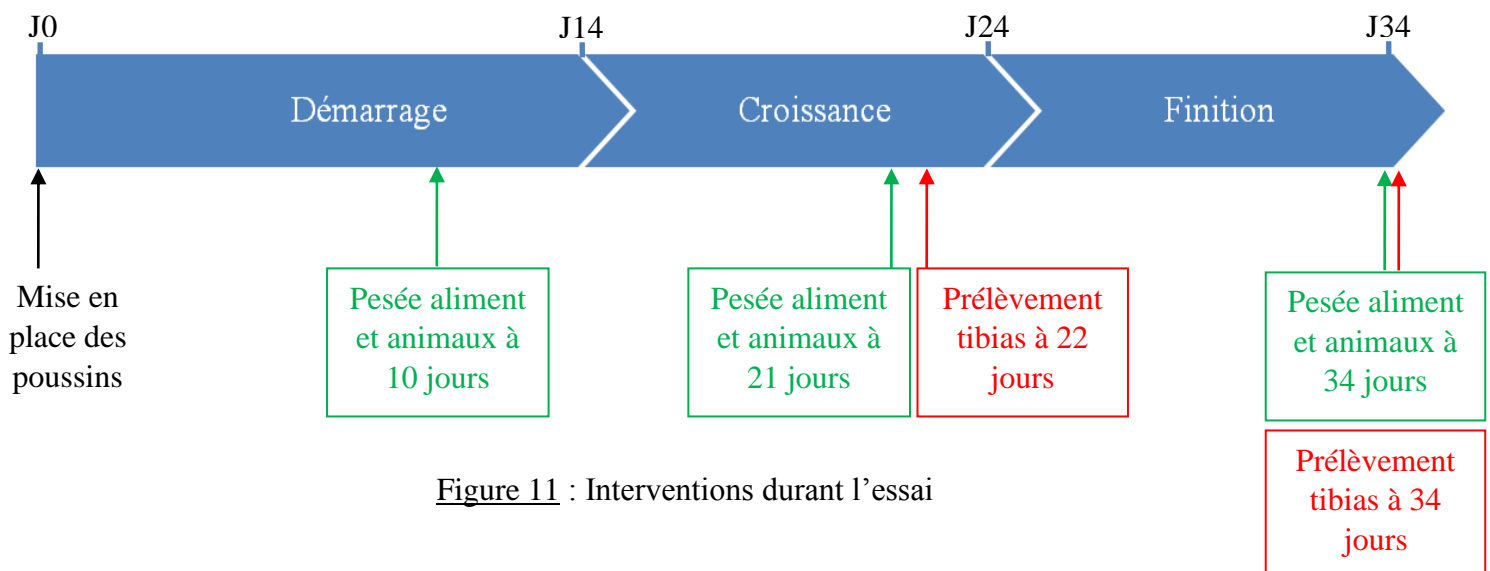


Figure 11 : Interventions durant l'essai

## 1.2. Protocole expérimental

### 1.2.1. Régimes expérimentaux

La formulation des aliments pour les essais a été réalisée grâce au logiciel Allix<sup>2</sup>. Les prémix sont fabriqués par MG2MIX (35) et envoyés aux fabricants d'aliment. Le régime alimentaire des poulets comprend 3 phases : le démarrage de 0 à 14 jours, la croissance de 15 à 24 jours et la finition de 25 jours jusqu'à l'abattage. L'aliment démarrage, fabriqué par l'INRA de St Gilles (35), est présenté sous forme de vermicelles (Figure 9). Les aliments croissance et finition sont produits par l'entreprise Le Men à Quintin (22). L'aliment croissance est sous forme de miettes alors que l'aliment finition est sous forme de granulés (Figure 9).

Cinq régimes ont été testés mais seulement trois différaient par la forme du phosphate. Ce sont ceux qui vont nous intéresser. Chacun des trois régimes a été distribué dans huit cases. Les cases étaient réparties dans le bâtiment (Figure 10) de façon à ce que la moyenne des cases d'un régime soit comparable à celle d'un autre régime. Le régime 1 était le régime témoin contenant du phosphate bicalcique (DCP), le régime 2 contenait du phosphate défluoré (DFP) et le régime 3 contenait un phosphate calco-sodique (Neophos). Les trois aliments avaient les mêmes compositions à l'exception du phosphate, du carbonate de calcium, du sel et de la sépiolite. Ils étaient isoénergétiques et isoprotéiques.

Une analyse chimique des aliments expérimentaux a été réalisée au laboratoire vétérinaire départemental de la Mayenne à Laval pour l'aliment démarrage et au laboratoire Deltavit à Janzé pour les aliments croissance et finition (Annexe I). L'objectif était de contrôler la comparabilité d'un régime à l'autre pour chacune des phases. Les aliments devaient en effet être identiques au niveau des différentes caractéristiques nutritionnelles. Une analyse granulométrique a également été réalisée sur l'aliment croissance sous forme de miettes.

### 1.2.2. Données générales

Une fiche de suivi a été apposée à l'entrée de chaque case. Elle rassemblait le nombre d'animaux de la case, le nombre et le poids des morts par jour ainsi que l'aliment consommé (Annexe II). L'ensemble des morts du bâtiment, leurs poids et leurs cases a été répertorié dans une fiche de suivi global pour le bâtiment (Annexe III). La consommation d'eau et la température ont été relevées tous les jours dans chacune des quatre zones du bâtiment (Annexes IV et V). L'hygrométrie dans le bâtiment a également été notée (Annexe V).

### 1.2.3. Performances de croissance

Des pesées de l'ensemble des animaux ont été réalisées à 10, 21 et 34 jours (Figure 11). Elles ont toujours eu lieu l'après-midi. Les animaux ont été mis à jeun 4 à 5 heures avant le début de la pesée. Pour chacune des cases, les poulets ont été répartis dans des caisses et comptés. Les caisses ont été pesées afin d'obtenir un poids total pour la case. De plus, la trémie et le sac entamé devant la case ont également été pesés afin d'obtenir la consommation réelle de la case au jour de la pesée. De plus, chaque sac d'aliment a été pesé par l'éleveur avant sa distribution et son poids a été noté sur la fiche de suivi de la case après que le sac ait été totalement consommé pour obtenir la quantité d'aliment consommé par la case durant la période d'intérêt.



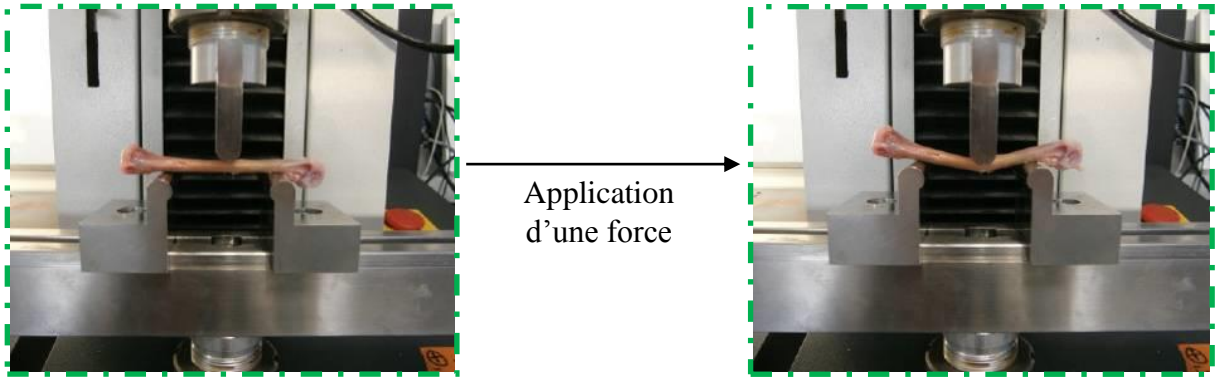


Figure 12 : Mesure de la force maximale et de la rigidité d'un tibia (Source : Zootests)

Ces données permettent de déterminer le poids vif moyen au jour de la pesée ainsi que, pour chaque période, le GMQ, la consommation moyenne d'aliment et l'indice de consommation :

- poids vif moyen = poids de tous les animaux de la case / nombre d'animaux de la case
- GMQ = variation du poids vif moyen entre les deux pesées / nombre de jours entre les deux pesées
- consommation moyenne d'aliment = quantité totale d'aliment consommée par la case entre les deux pesées / nombre d'animaux de la case
- indice de consommation = consommation moyenne d'aliment / variation du poids vif moyen

Des pesées intermédiaires d'environ 150 animaux (30 par régime) ont eu lieu régulièrement afin de suivre l'évolution du poids vif.

#### 1.2.4. Mesures et analyses osseuses

A 22 et 34 jours, les deux tibias d'un animal pour chacune des cases ont été prélevés (Figure 11). Les animaux choisis avaient un poids proche du poids moyen de leur régime. Ils ont été sacrifiés par dislocation cervicale. Après prélèvement sur les animaux, la longueur et le diamètre de chaque tibia ont été mesurés. Les tibias gauches (TG) ont été envoyés au laboratoire Bio Chêne Vert (Chateaubourg – 35) pour analyse de la teneur en cendres tandis que les tibias droits (TD) ont été envoyés à Zootests (Ploufragan – 22) pour mesure de la force maximale à appliquer pour entrainer la rupture du tibia et pour mesure de la rigidité (Figure 12). L'analyse de la teneur en cendres est réalisée selon la norme NF V 04-404 (2001).

#### 1.2.5. Analyses des données

Lors de la mise en place, les animaux ont été répartis aléatoirement et de façon homogène dans l'ensemble des 40 cases. Etant donné que les mesures et les analyses ont été réalisées par case, l'individu statistique est la case. Il y a donc huit répétitions par régime (40 cases = 5 régimes \* 8 répétitions). Les variables correspondant aux performances concernent l'ensemble des animaux de la case alors que les variables correspondant aux tibias concernent un seul individu par case.

Le logiciel Microsoft Office Excel 2007 permet de stocker l'ensemble des mesures et des résultats d'analyse au sein d'une base de données. Ce logiciel a aussi permis de réaliser les analyses descriptives comme le calcul des moyennes et des écarts-types par régime.

L'analyse statistique a été réalisée à l'aide du logiciel SPSS 12.0.1. Pour l'ensemble des tests, le seuil de significativité  $\alpha$  a été fixé à 5 %. Pour chacune des variables d'intérêt, un modèle linéaire  $Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ij}$  a été créé à partir du jeu de données. En prenant l'exemple du poids à 10 jours comme variable d'intérêt,  $Y_{ij}$  correspond au poids moyen à 10 jours pour la case  $j$  appartenant au régime  $i$ ,  $\mu$  est la moyenne du poids à 10 jours pour l'ensemble des trois régimes,  $\alpha_i$  est l'effet dû au régime  $i$  et  $\varepsilon_{ij}$  est le résidu pour la case  $j$ . On a  $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 0$ . Dans un premier temps, la normalité des résidus et l'homoscédasticité des résidus ont été testées pour chaque variable grâce aux tests de Shapiro-Wilk et de Levene. Les résultats de ces tests autorisent ou non l'utilisation des tests paramétriques tels que l'analyse de variance (ANOVA). Pour les variables dont les résidus suivaient une loi normale et avaient des variances homogènes, une ANOVA a été effectuée. Lorsqu'il y avait des différences significatives entre les régimes pour une variable, des tests S-N-K et de Tukey ont été réalisés afin de faire deux ou trois groupes homogènes entre les régimes. Dans le cas de non normalité ou d'hétéroscédasticité des résidus, un test non paramétrique (Kruskal-Wallis) a permis de montrer les éventuelles différences entre les régimes pour les variables concernées.

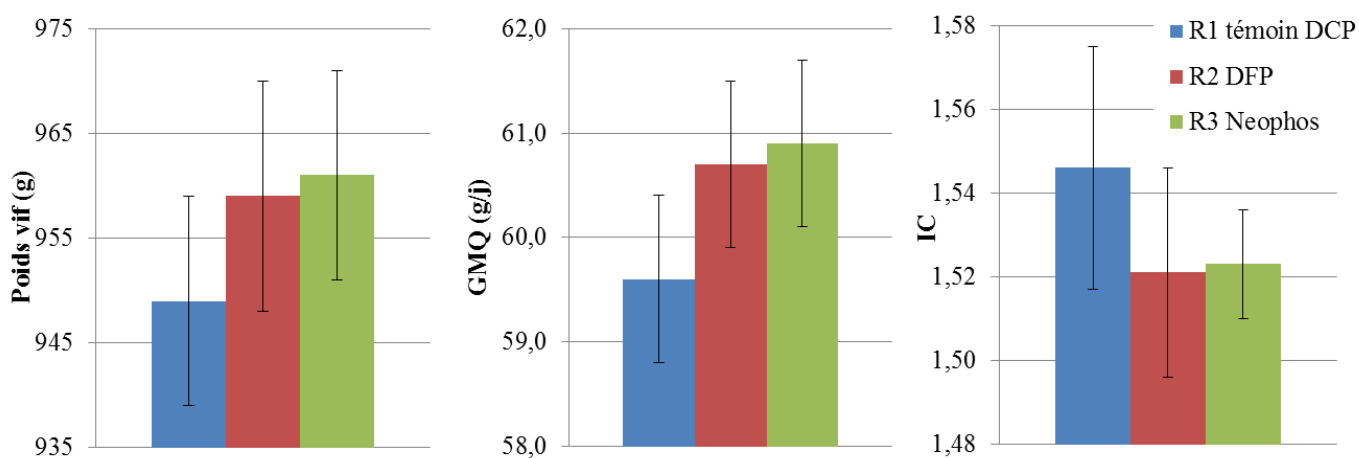
**Tableau 7** : Résultats d'analyse des aliments (en % de l'aliment) et écarts tolérés pour les indications d'étiquetage (Source : Journal officiel de l'UE, 2010)

	Démarrage			Croissance			Finition			Tolérance
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	
Humidité (%)	13,5	13,8	12,7	11	11,3	11,3	12	12	12,3	± 1 pt
Matières azotées totales (%)	21,0	20,9	21,4	19,8	19,8	19,6	17,5	17,6	16,9	± 12,5 %
Matières grasses (%)	2,3	2,4	2,4	3,7	4,1	3,7	4,3	4,0	4,0	± 1 pt
Matières minérales (%)	5,8	5,8	5,6	5,8	5,7	5,1	4,6	4,7	5,0	± 1 pt
Cellulose brute (%)	-	-	-	2,3	2,4	2,5	-	-	-	± 1,7 pt
Sodium (%)	0,16	0,16	0,16	0,17	0,16	0,13	0,14	0,13	0,13	± 0,2 pt
Phosphore (%)	0,60	0,62	0,59	0,59	0,61	0,56	0,46	0,47	0,45	± 0,2 pt
Calcium (%)	0,96	0,95	0,95	1,01	0,93	0,75	0,71	0,65	0,81	± 0,2 pt
Ratio Ca/P	1,6	1,53	1,61	1,71	1,52	1,34	1,54	1,38	1,8	-

**Tableau 8** : Performances zootechniques des animaux

		R1 témoin DCP	R2 DFP	R3 Neophos	Effet régime
Poids (g)	10 j	293 (6)	291 (6)	292 (5)	NS
	21 j	949 (10)	959 (11)	961 (10)	NS (pc = 0,07)
	34 j	2086 (40)	2097 (53)	2089 (17)	NS
GMQ (g/j)	0-10	26,6 (0,6)	26,4 (0,5)	26,5 (0,5)	NS
	10-21	59,6 (0,8) <b>b</b>	60,7 (0,8) <b>a</b>	60,9 (0,8) <b>a</b>	<b>pc = 0,01</b>
	21-34	87,5 (2,9)	87,6 (3,5)	86,7 (1,6)	NS
IC	0-10	1,081 (0,014)	1,083 (0,017)	1,089 (0,023)	NS
	10-21	1,546 (0,029)	1,521 (0,025)	1,523 (0,013)	NS (pc = 0,08)
	21-34	1,847 (0,041)	1,852 (0,044)	1,873 (0,029)	NS

Moyenne (écart-type) ; NS : non significatif



**Figure 13** : Effet du régime sur le poids à 21 jours, le GMQ et l'IC entre 10 et 21 jours (les barres d'erreurs correspondent à la moyenne ± l'écart-type)

## 2. Résultats

### 2.1. Analyse des aliments expérimentaux

D'après les résultats d'analyse (Tableau 7), les aliments sont conformes à ce qui était attendu. De plus, les résultats granulométriques n'ont pas montré de différences entre les 3 régimes.

### 2.2. Performances zootechniques

#### 2.2.1. Poids

Les résidus des poids moyens des animaux à 21 et 34 jours suivent une loi normale mais pas les résidus du poids moyen à 10 jours. De plus, pour le poids moyen à 34 jours, l'hypothèse d'homoscédasticité des résidus n'est pas respectée. Les poids à 10 et 34 jours ont donc été analysés à l'aide du test non paramétrique de Kruskal-Wallis alors que le poids à 21 jours a été analysé avec une ANOVA.

Pour le poids des animaux à 10 jours, il n'y a pas de différence significative entre les régimes (probabilité critique = 0,71). Bien que l'on observe des moyennes du poids à 21 jours pour les régimes 2 et 3 légèrement supérieures à celle pour le régime 1 (Tableau 8 et Figure 13), cela n'est pas vrai statistiquement ( $pc = 0,07$ ). Il n'y a pas non plus d'effet significatif du régime sur le poids à 34 jours ( $pc = 0,84$ ).

#### 2.2.2. Gains moyens quotidiens

Les résidus du GMQ sur la période 0-10 jours ne suivent pas une loi normale. Cette variable a donc été analysée grâce au test de Kruskal-Wallis. Les GMQ entre 10 et 21 jours et entre 21 et 34 jours respectent les hypothèses de normalité et d'homoscédasticité des résidus ; ils ont donc été analysés par une ANOVA.

L'analyse statistique ne met en évidence un effet significatif du régime sur le GMQ que pour la période 10-21 jours. Le GMQ est plus important pour les régimes 2 et 3 que pour le régime 1 (Tableau 8 et Figure 13). Il n'y a pas d'effet significatif du régime sur le GMQ pour les périodes 0-10 et 21-34 jours (respectivement  $pc = 0,71$  et  $pc = 0,40$ ).

#### 2.2.3. Indices de consommation

Les IC sur les périodes 0-10 et 21-34 jours ont des résidus qui ne suivent pas une loi normale, ils ont donc été analysés avec le test de Kruskal-Wallis. L'IC entre 10 et 21 jours, respectant l'hypothèse de normalité et celle d'homoscédasticité des résidus, a été analysé grâce à une ANOVA.

Sur les périodes 0-10 et 21-34 jours, il n'y a pas d'effet significatif du régime sur l'IC (respectivement  $pc = 0,91$  et  $pc = 0,17$ ). Bien que les IC entre 10 et 21 jours soient plus faibles pour les régimes 2 et 3, il n'y a pas de différence significative ( $pc = 0,08$ ).

#### 2.2.4. Consommations d'aliment

Quel que soit la période, il n'y a aucune différence significative entre les régimes pour les consommations d'aliment.

Tableau 9 : Longueur, diamètre et poids des tibias à 22 et 34 jours

		R1 témoin DCP	R2 DFP	R3 Neophos	Effet régime
Longueur TG (mm)	22 j	80 (2)	79 (2)	80 (1)	NS
	34 j	101 (5)	100 (2)	100 (3)	NS
Diamètre TG (mm)	22 j	5,7 (0,5)	5,4 (0,3)	5,6 (0,4)	NS
	34 j	7,3 (0,5)	7,5 (0,3)	7,5 (0,6)	NS
Poids TD (g)	22 j	5,4 (0,5)	5,2 (0,2)	5,2 (0,2)	NS
	34 j	11,0 (0,8)	11,5 (0,6)	11,0 (0,9)	NS

Moyenne (écart-type) ; NS : non significatif

Tableau 10 : Force maximale, rigidité et teneur en cendres des tibias à 22 et 34 jours

		R1 témoin DCP	R2 DFP	R3 Neophos	Effet régime
Force maximale TD (N)	22 j	225 (21)	209 (42)	206 (26)	NS
	34 j	316 (62)	342 (59)	307 (42)	NS
Rigidité TD (N/mm)	22 j	163 (11) <b>a</b>	140 (13) <b>b</b>	150 (20) <b>ab</b>	<b>pc = 0,02</b>
	34 j	164 (32)	175 (33)	165 (31)	NS
Teneur en cendres TG (%)	22 j	15,2 (1,6)	14,4 (0,9)	15,7 (1,6)	NS
	34 j	22,2 (6,6)	22,6 (6,3)	22,7 (6,0)	NS

Moyenne (écart-type) ; NS : non significatif ;

## 2.3. Minéralisation osseuse

### 2.3.1. Mesures tibiales

La longueur du tibia gauche à 22 et 34 jours et le diamètre du tibia gauche à 34 jours ne respectent pas l'hypothèse de normalité des résidus alors que le diamètre du tibia gauche à 22 jours et le poids du tibia droit à 34 jours respectent les hypothèses de normalité et d'homoscédasticité des résidus. Le poids du tibia droit à 22 jours respecte l'hypothèse de normalité mais pas celle d'homoscédasticité. Les trois premières variables et le poids du tibia droit à 22 jours ont donc été analysés grâce à un test de Kruskal-Wallis tandis que le diamètre du tibia gauche à 22 jours et le poids du tibia droit à 34 jours ont été analysés avec une ANOVA.

Il n'y a pas d'effet significatif du régime sur les mesures du tibia gauche et du tibia droit (Tableau 9) : longueur du tibia gauche à 22 jours ( $pc = 0,47$ ) et à 34 jours ( $pc = 0,88$ ), diamètre du tibia gauche à 22 jours ( $pc = 0,29$ ) et à 34 jours ( $pc = 0,53$ ) et poids du tibia droit à 22 jours ( $pc = 0,46$ ) et à 34 jours ( $pc = 0,35$ ).

### 2.3.2. Analyses tibiales

La force maximale à 22 jours et la teneur en cendres à 34 jours ont des résidus qui ne suivent pas une loi normale et ont donc été analysés grâce au test paramétrique de Kruskal-Wallis. Les autres variables respectent les hypothèses nécessaires pour réaliser une ANOVA.

Pour la rigidité du tibia droit à 22 jours, il y a des différences significatives entre les 3 régimes. Le régime 2 correspond à la plus faible rigidité tibiale, le régime 3 à la rigidité intermédiaire et le régime 1 à la rigidité la plus élevée (Tableau 10). Pour les autres variables, il n'y a pas d'effet significatif du régime.

Les meilleures forces maximales, rigidités et teneurs en cendres sont celles qui sont le plus élevées.



## **1. Discussion**

Après avoir présenté les résultats de l'essai testant 3 formes différentes de phosphate, nous allons maintenant discuter ces résultats et tenter de déterminer si ces phosphates ont été bien caractérisés dans la matrice de formulation.

### 1.1. Des performances zootechniques ressemblantes d'un régime à l'autre

#### 1.1.1. Le régime n'a pas d'effet durant la phase démarrage

A la mise en place de l'essai, le nombre d'animaux présent dans chaque régime (1016 animaux) était identique tout comme leur poids moyen (46 g). Cela était recherché afin d'avoir exactement les mêmes conditions de départ avant d'apporter aux animaux des aliments différents en fonction de leur régime. Sur la période démarrage, toutes les données zootechniques se sont révélées identiques d'un régime à l'autre. Cela s'illustre par des poids moyens à 10 jours respectivement de 293, 291 et 292 g pour les régimes 1, 2 et 3.

#### 1.1.2. Un effet du régime durant la phase croissance

Entre 10 et 21 jours, période associée à la phase de croissance (l'aliment croissance étant distribué à partir du 14<sup>ème</sup> jour jusqu'au 24<sup>ème</sup>), les régimes semblent se différencier les uns des autres. Le GMQ sur la période 10-21 jours des animaux ayant consommé de l'aliment avec du phosphate défluoré ou du phosphate Neophos est statistiquement plus élevé que celui des animaux ayant consommé du phosphate bicalcique. Les autres données (poids à 21 jours et IC sur la période 10-21 jours) semblent confirmer l'amélioration des performances zootechniques des animaux disposant d'un aliment composé de DFP ou de Neophos. Le fait que les différences au niveau du poids vif moyen et de l'indice de consommation aillent dans le même sens ([Tableau 8](#)) tend à confirmer l'effet améliorateur du DFP et du Neophos. Avec le seuil de significativité à 10 %, le régime a aussi un effet significatif sur le poids à 21 jours et l'IC entre 10 et 21 jours mais il n'y a toutefois rien d'observable au niveau des consommations d'aliment. Cela semble conforter les résultats fournis par Altilis (2013) qui montrent également une augmentation de un point du GMQ durant la phase croissance en comparant un régime avec du DCP à un régime avec du DFP (respectivement 67,3 et 68,3 g/j).

#### 1.1.3. Le régime n'a pas d'effet durant la phase finition

De 21 jours jusqu'à l'abattage, les données zootechniques étudiées sont quasiment les mêmes d'un régime à l'autre.

#### 1.1.4. Des performances cohérentes avec la bibliographie

Les performances zootechniques des animaux de l'essai sont du même ordre de grandeur que celles présentées dans la littérature ([Tableau 8](#) et [Figure 4](#)).

Les essais communiqués par Altilis (2012) et Timab (2013), les fournisseurs respectifs du DFP et du Neophos, donnent des résultats similaires.





### 1.2. Des données tibiales quasiment identiques d'un régime à l'autre

Les données tibiales des poulets de chair de l'essai sont du même ordre de grandeur que celles données dans la bibliographie (Tableau 6, Figure 6 et Tableau 10).

Les différences de performances zootechniques observées durant la phase de croissance des poulets de chair amènent à s'intéresser aux données tibiales à 22 jours. Comme recherché, les poids moyens des animaux sacrifiés sont les mêmes pour chaque régime. Les poids, les longueurs et les diamètres sont également identiques. Le régime n'a pas d'effet significatif sur la force maximale ( $pc = 0,43$ ) mais en a un sur la rigidité du tibia ( $pc = 0,02$ ). La rigidité du tibia est plus élevée chez les poulets du régime 1 avec du phosphate bicalcique que chez les poulets du régime 3 avec du Neophos qui ont eux-mêmes une rigidité tibiale plus élevée que les poulets du régime 2 avec du DFP. Cela va à l'encontre des résultats obtenus par Atilis (2012) : les animaux ayant du DFP dans leur aliment ont des forces maximales tibiales plus élevées que les animaux ayant du DCP dans leur aliment, et la force maximale tibiale est fortement corrélée à la rigidité tibiale (Annexe VI).

A 34 jours, la veille de l'abattage, aucune différence significative n'est observée entre les régimes au niveau des données tibiales. Cela conduit à penser que l'évolution entre 22 et 34 jours n'a pas été la même que pour la phase de croissance de 10 à 21 jours. L'écart qui existait entre les régimes à 22 jours semble s'être réduit. Les animaux du régime 2 ont apparemment « rattrapés » ceux des autres régimes (Tableau 10).

En s'intéressant à l'évolution moyenne journalière de chacune des variables, il apparaît qu'elle est légèrement plus élevée pour les animaux du régime 2 que pour les animaux des autres régimes. En partant du principe que le phosphate bicalcique est défini très précisément au sein de la matrice de MG2MIX, c'est peut-être l'apport de phosphore par le DFP qui est un peu sous-évalué.

Cependant, une limite aux mesures et aux analyses tibiales est le faible nombre de répétitions ( $N = 8$  poulets) au sein de chaque régime. Selon l'entreprise Zootests qui réalise les analyses, prélever les tibias de 8 poulets par régime ne suffit pas pour avoir des résultats fiables. Mais il n'a malheureusement pas été possible en pratique de prélever des tibias sur un plus grand nombre de poulets. Cette limite est probablement l'explication à l'incohérence existant entre les résultats de l'essai et les résultats d'Atilis (2012).

### 1.3. Des économies permises par les phosphates défluoré et Neophos

Les prix du DCP, du DFP et du Neophos sont respectivement 475, 525 et 555 euros la tonne. Cependant, les quantités incorporées dans les aliments des trois régimes ont l'évolution inverse. Une étude économique sur des formules d'aliment poulet croissance blanc (référence de MG2MIX) a été réalisée avec le logiciel Allix<sup>2</sup>. Le remplacement du DCP par du DFP permet d'économiser 0,50 €/tonne d'aliment alors que le passage du DCP au Neophos permet d'économiser 0,23 €/tonne d'aliment. Il semble donc que le phosphate défluoré soit à ce jour le plus intéressant parmi les trois phosphates étudiés.



#### 1.4. Les autres paramètres à prendre en compte dans le choix du phosphate

De plus, le phosphate DFP et le phosphate Neophos apportent du sodium en plus du phosphore et du calcium. Cet apport de sodium sans chlore permet une épargne de source de sodium avec chlore dans les formules.

Les phosphates défluoré et Neophos sont plus concentrés en sources minérales (P, Ca et Na) que le phosphate bicalcique. Cela peut permettre une libération de place dans la formule. Il y a en effet plus de nutriments dans une même masse. C'est une des explications des économies observées dans le 1.3.

#### 1.5. Variabilité au niveau des résultats d'analyse des aliments

Les quelques différences observées (Tableau 7) n'ont pas de conséquences sur les performances et la minéralisation osseuse des animaux. Elles sont dues à la variabilité de fabrication et à la variabilité d'analyse.



## 2. Limites de l'étude

### 2.1. Des données tibiales peu fiables en raison du faible nombre de répétitions

Le nombre de répétitions pour les mesures et les analyses tibiales est trop faible pour pouvoir observer des différences entre les régimes (Source : Zootests – essai poulettes). Il y a seulement 8 animaux prélevés par régime (un par case) à chacun des deux âges de prélèvement.

### 2.2. Manque d'une évolution dans le temps des tibias

Une autre des limites des analyses tibiales est que les prélèvements sont réalisés sur des animaux différents à 22 jours et à 34 jours puisque les poulets sont obligatoirement sacrifiés pour le prélèvement. Il n'est donc pas possible d'avoir l'évolution dans le temps d'un même tibia.

### 2.3. Des résultats pas totalement représentatifs du terrain

La séparation des animaux en lot de 127 et leur claustration dans des cases de 6 m<sup>2</sup> procurent aux animaux un accès à l'abreuvoir et à la mangeoire plus important qu'en élevage conventionnel. Cela favorise leur consommation d'eau et d'aliment. De plus, leurs pertes énergétiques sont réduites car leurs déplacements sont limités. Les performances zotechniques des animaux ne sont donc pas exactement représentatives du terrain puisque les conditions d'élevage en station expérimentale sont plus favorables qu'en élevage conventionnel.

## 3. Perspectives

Il faudrait renouveler l'essai afin de confirmer les conclusions auxquelles nous sommes arrivés. Plus précisément, il serait utile de savoir si l'effet du régime observé durant la phase croissance est à nouveau présent. Un autre essai permettrait en plus d'enrichir la base de données au niveau des mesures et analyses tibiales.



## Conclusion

En élevage avicole, satisfaire les besoins des animaux en phosphore et en calcium est primordial. L'objectif de ce travail était de valider la matrice de formulation de MG2MIX au niveau des phosphates, une des formes d'apport de phosphore. Dans l'essai réalisé, les régimes étaient voulus identiques au niveau des apports nutritionnels. Il n'y a pas eu de différence significative entre les régimes pour la majorité des variables concernant les performances zootechniques et la minéralisation osseuse. Les deux phosphates semblent donc avoir été bien caractérisés dans la matrice malgré l'effet significatif du régime pour deux des variables étudiées : le GMQ durant la période 10-21 jours et la rigidité tibiale à 22 jours. Une des limites aux analyses osseuses est le faible nombre de répétitions par régime. Le résultat obtenu pour la rigidité tibiale est donc à prendre avec précaution. Les niveaux d'apport en nutriments qui ont été attribués à chacun des phosphates semblent corrects. Cela est positif pour MG2MIX qui est donc en mesure d'utiliser ces deux nouveaux phosphates présents sur le marché. Selon l'évolution des prix et des disponibilités de ces nouvelles matières premières, des économies au niveau des coûts des formules sont envisageables.





## Références bibliographiques

**Agreste - Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt.** Agreste Infos rapides – Aviculture - Mai 2013 - n°5/11 – p 6 [en ligne]. Date de consultation : 12/06/14. Disponible sur : < <http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/conjinforap201405avic.pdf> >.

**Agreste - Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt.** Agreste Infos rapides – Aviculture - Mai 2014 - n°5/11 – p 6 [en ligne]. Date de consultation : 12/06/14. Disponible sur : < <http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/conjinforap201405avic.pdf> >.

**Al-Masri, M. R.** 1995. Absorption and endogenous excretion of phosphorus in growing broiler chicks, as influenced by calcium and phosphorus ratios in feed. *British Journal of Nutrition* **74**: 407-415.

**Atilis Nutrition Animale.** 2011. Fiche technique phosphate DFP.

**Atilis Nutrition Animale.** 2012. Final report: availability trial on mineral phosphate sources.

**Aureli, R., Umar Faruk, M., Broz, J. and Fru F.** 2013. Effets de doses croissantes d'une nouvelle 6-phytase microbienne sur l'utilisation totale apparente de phosphore et sur la minéralisation osseuse chez le poulet de chair. *Journées de la Recherche Avicole* **10**: 825-828.

**Aviagen.** 2009. Broiler nutrition supplement : Ross PM3.

**Barreiro, F. R., Amaral, L. A., Shimano, A. C., Alva, J. C. R., Barbosa, J. C. and Baraldi-Artoni, S. M.** 2011. Physiologic values of broilers femurs at different growth phases using bone densitometry and bone breaking strength. *International Journal of Poultry Science* **10** (7): 530-533.

**Bleukx, W.** 2005. Production et qualité nutritionnelle des phosphates alimentaires. *INRA Productions Animales* **18** (3): 169-173.

**Catala-Gregori, P., Garcia, V., Hernandez, F., Madrid, J. and Ceron, J. J.** 2006. Response of broilers to feeding low-calcium and phosphorus diets plus phytase under different environmental conditions: body weight and tibiotarsus mineralization. *Poultry science* **85**: 1923-1931.

**Cobb.** 2012. Performances et recommandations nutritionnelles : Cobb 500.

**Coto, C., Yan, F., Cerrate, S., Wang, Z., Sacakli, P., Waldroup, P. W., Halley, J. T., Wiernusz, C. J., Martinez, A.** 2008. Effects of dietary levels of calcium and nonphytate phosphorus in broiler starter diets on live performance, bone development and growth plate conditions in male chicks fed a wheat based diet. *International Journal of Poultry Science* **7**: 101-109.

**FranceAgriMer.** Les cahiers de FranceAgriMer - Chiffres-clés - Elevage - Filières avicoles – Février 2013 – pp 53-65 [en ligne]. Date de consultation : 16/04/14. Disponible sur : < <http://www.franceagrimer.fr/content/download/21788/178234/file/plaquette%20des%20chiffres%20cl%C3%A9sBD2.pdf> >.



**Hubbard.** 2009. Guide d'élevage poulet de chair.

**INRA.** 1989. *L'alimentation des animaux monogastriques : porc, lapin, volailles.* INRA, Paris. 85-93.

**INRA-AFZ.** 2004. Tables INRA-AFZ.

**Jiang, X. R., Luo, F. H., Qu, M. R., Bontempo, V., Wu, S. G., Zhang, H. J., Yue, H. Y. and Qi, G. H.** 2013. Effects of non-phytate phosphorus levels and phytase sources on growth performance, serum biochemical and tibia parameters of broiler chickens. *Italian Journal of Animal Science* **12**: 375-380.

**Larbier, M. and Leclercq, B.** 1992. *Nutrition et alimentation des volailles.* Paris. 355.

**Létourneau-Montminy, M. P., Narcy, A., Lescoat, P., Bernier, J. F., Magnin, M., Pomar, C., Nys, Y., Sauvant, D. and Jondreville, C.** 2010. Meta-analysis of phosphorus utilisation by broilers receiving corn-soyabean meal diets: influence of dietary calcium and microbial phytase. *Animal* **4**: 1844-1853.

**Magnin, M., Hassan, Z. A., Legrand, G., Jeanmichel, P., Mahieu, A. and Le Dain, C.** 2013. Effets du sexe, de l'âge, de la souche et de l'apport alimentaire en calcium et phosphore sur la teneur en cendres et la résistance du tibia du poulet de chair. *Journées de la Recherche Avicole* **10**: 655-659.

**Magnin, M., Jeanmichel, P. and Mahieu A.** 2009. Interaction entre les apports relatifs de calcium et de phosphore et la croissance du poulet de chair. *Journées de la Recherche Avicole* **8**: 123-127.

**Narcy, A., Létourneau-Montminy, M. P., Magnin, M., Nys, Y. and Jondreville, C.** 2009. Voies nutritionnelles d'économie de phosphore chez le poulet. *Journées de la Recherche Avicole* **8**: 102-109.

**National Research Council.** 1994. *Nutrient Requirements for Poultry, Ninth Revised Edition.* National Academy Press, Washington, D.C.

**Preynat, A., Uzu, G. and Picart, C.** 2013. Impact du ratio calcium/phosphore disponible de l'aliment poulet de chair sur la valorisation d'une combinaison carbohydrases et phytase. *Journées de la Recherche Avicole* **10**: 674-677.

**Rousseau, X., Même, N., Magnin, M., Couty, M., Bordeau, T. and Narcy, A.** 2013. Vers une utilisation efficace des ressources minérales. *Journées de la Recherche Avicole* **10**: 650-654.

**Rousseau, X., Même, N., Magnin, M., Nys, Y. and Narcy, A.** 2013. Modulation de l'utilisation du phosphore alimentaire chez le poulet en phase de finition. *Journées de la Recherche Avicole* **10**: 927-931.

**Sauveur, B.** 1989. Phosphore phytique et phytases dans l'alimentation des volailles. *INRA Productions Animales* **2 (5)**: 343-351.



**Shastak, Y., Witzig, M., Hartung, K., Bessei, W. and Rodehutsord, M.** 2012. Comparison and evaluation of bone measurements for the assessment of mineral phosphorus sources in broilers. *Poultry Science* **91**: 2210-2220.

**Shim, M. Y., Karnuah, A. B., Mitchell, A. D., Anthony, N. B., Pesti, G. M. and Aggrey, S. E.** 2012. The effects of growth rate on leg morphology and tibia breaking strength, mineral density, mineral content, and bone ash in broilers. *Poultry Science* **91**: 1790-1795.

**SNIA.** Rapport d'activité, publié en mai 2014 [en ligne]. Date de consultation : 12/06/14. Disponible sur : < [http://snia.inie.makoa.fr/fichiers/20140527114053\\_2014\\_Rapport\\_dactivite.pdf](http://snia.inie.makoa.fr/fichiers/20140527114053_2014_Rapport_dactivite.pdf) >.

**Timab.** 2013. Détermination de la biodisponibilité du phosphore de NEOPHOS : essai INRA en volailles de chair.

**Tran, G. and Skiba, F.** 2005. Variabilité inter et intra matière première de la teneur en phosphore total et phytique et de l'activité phytasique. *INRA Productions Animales* **18**: 159-168.


**Underwood, E. J. and Suttle, N. F.** 1999. *The mineral nutrition of livestock. 3<sup>rd</sup> Edition.* CAB International, Wallingford, Oxon.

**Yonemochi, C., Takagi, H., Hanazumi, M., Hijikuro, S., Koide, K., Ina, T. and Okada, T.** 2000. Improvement of phosphorus availability by dietary supplement of phytase in broiler chicks. *Japanese Poultry Science* **37**: 154-161.



## Annexes

### Annexe I : Exemple de résultats des analyses chimiques des aliments

**LA MAYENNE**  
CONSEIL GÉNÉRAL

RAPPORT D'ANALYSE N° 140414 002082 01  
Date d'édition : 13/05/2014  
Analyses : Essai

LABORATOIRE DÉPARTEMENTAL D'ANALYSES

ETABLISSEMENTS MG2 MIX ESSAIS  
ZONE DE LA BASSE HAIE

Client	
Nom	: MG2 MIX ESSAIS
Commune	: CHATEAUBOURG

35220 CHATEAUBOURG Page 1/1

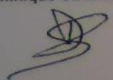
Prélèvement			
Référence client	: 1	N° d'échantillon	: 2172
Type d'aliment	: Aliment volaille	Date de prélèvement	: 09/04/2014
Référence	: Poulet démarrage	Date de réception	: 14/04/2014
Remarques	: INRA - Essai 89-2014 - Formule 3018 - Vermicelle		

**Résultats sur produit brut**

Paramètres	Résultats	Unités
Humidité (étuve)	13.5	%
Matières Minérales (Calcination)	5.8	%
Matières Azotées Totales (Kjeldahl - N*6.25)	21.0	%
Matière Grasse Libre (Ether pétrole)	2.3	%
Phosphore (Spectrocolorimétrie)	0.60	%
Calcium (Abs. Atomique)	0.96	%
Sodium (Em. atomique)	0.159	%

(e.c.) = en cours d'analyse N.M. = non mesuré

224 rue du Bas des Bois  
BP 1427  
53014 LAVAL Cedex  
☎ 02 43 56 36 81  
02 43 56 49 10  
✉ lda53@c.g53.fr  
www.lda53.fr

Le technicien  
Dominique SEILLERY  






Destinataire  
**MG2MIX**  
Mr GERFAULT Vincent  
ZI de la Basse Haie  
35220 CHATEAUBOURG

Client demandeur  
**MG2MIX**  
ZI de la Basse Haie  
35220 CHATEAUBOURG

Référence du dossier  
**141111146**

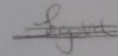
**Poulet croissance**

Ref. échant. **14111146001**

Reçu au laboratoire le	15/05/2014	Prélevé le	13/05/2014
Site	ESSAI		
Référence client	<b>Terrain - Essai89 - MietteR1 - SR</b>		
Date de fabrication	13/05/2014	Poids échantillon	402.4 g

Analyse	Résultat	Début analyse le
<b>Humidité</b> NF ISO 6496	11.0 %	20/05/2014
<b>Cellulose</b> NF V03-040 adaptée	2.3 %	15/05/2014
<b>Protéines (Dumas corrigées Kjeldhal)</b> NF EN ISO 15634-1	19.8 %	20/05/2014
<b>Matières minérales</b> NF V15-101	5.8 %	15/05/2014
<b>Matière grasse</b> NF ISO 6492 - A	3.7 %	20/05/2014
<b>Phosphore</b> NF ISO 6491	0.59 %	19/05/2014
<b>Calcium</b> NF EN ISO 6869	1.01 %	19/05/2014
<b>Sodium</b> NF EN ISO 6869	0.17 %	19/05/2014

Validé le 26/05/2014 par  
**Christèle LEGOURD**  
Adjointe au responsable



Résultats rendus sur produit brut

La reproduction de ce rapport d'analyse n'est autorisée que sous sa forme intégrale. Il ne concerne que les échantillons soumis à l'essai.  
L'accréditation du COFRAC atteste de la compétence des laboratoires pour les seuls essais couverts par l'accréditation qui sont identifiés par le symbole Cofrac

Edité le 27/05/2014


SAS DELTAVIT | Société par Actions Simplifiée au capital de 1.206.900 euros  
RCS Rennes : D 313 296 550 | N° TVA intracommunautaire : FR 14 313 296 550

Page 1/1



Annexe II : Fiche de suivi d'une case

Fiche de Relevé Mortalité Poulets



CASE N° 2

Régime 2

ESSAI 89

Nombre mep: 127

Date	Age	Morts	Poids morts	Aliment Distribués	
mardi 29 avril 2014	0			8,8 D	
mercredi 30 avril 2014	1				
jeudi 1 mai 2014	2				
vendredi 2 mai 2014	3				
samedi 3 mai 2014	4				
dimanche 4 mai 2014	5	1	115	25 D ✓	
lundi 5 mai 2014	6				
mardi 6 mai 2014	7				
mercredi 7 mai 2014	8				
jeudi 8 mai 2014	9				
vendredi 9 mai 2014	10	1	83		
samedi 10 mai 2014	11		109	250 ✓	125
dimanche 11 mai 2014	12				
lundi 12 mai 2014	13				
mardi 13 mai 2014	14	1		25 D ✓	
mercredi 14 mai 2014	15	1	357	25 C ✓	
jeudi 15 mai 2014	16				
vendredi 16 mai 2014	17				
samedi 17 mai 2014	18				
dimanche 18 mai 2014	19			25 C ✓	
lundi 19 mai 2014	20			25 C ✓	
mardi 20 mai 2014	21	1	330		122
mercredi 21 mai 2014	22			25 C ✓	
jeudi 22 mai 2014	23			25 C ✓	
vendredi 23 mai 2014	24			12,5 C ✓	
samedi 24 mai 2014	25			25 F ✓	
dimanche 25 mai 2014	26			24,3 F ✓	
lundi 26 mai 2014	27				
mardi 27 mai 2014	28			25 F ✓	
mercredi 28 mai 2014	29	1	600	24,3 F ✓	
jeudi 29 mai 2014	30			25,1 F ✓	
vendredi 30 mai 2014	31			7,8 + 6,250 F ✓	
samedi 31 mai 2014	32	1	1740	25,1 F ✓	
dimanche 1 juin 2014	33			21,8 F + 4,1 F ✓	
lundi 2 juin 2014	34				
mardi 3 juin 2014	35				
mercredi 4 juin 2014	36				120
jeudi 5 juin 2014	37				
vendredi 6 juin 2014	38				
samedi 7 juin 2014	39				
dimanche 8 juin 2014	40				
lundi 9 juin 2014	41				
mardi 10 juin 2014	42				

MG2Mix






Annexe III : Fiche de suivi de la mortalité

Fiche de Relevé Mortalité Poulets

Mep 29-avr.-14  
Essai 89



Date	Case	Nbre	Poids	Date	Case	Nbre	Poids	Date	Case	Nbre	Poids
30/04	15	1	45	7/05	34	2	284		19	1	680
	20	1	44	8/05	4	1	279		22	1	800
13/05	34	1	31	9/05	8	1	140		23	1	380
11/05	6	1	58		12	1	321		25	1	240
	10	1	39		13	1	156		31	1	340
13/05	27	1	49		23	1	331		40	1	300
17/05	3	1	36		30	1	339	19/05	19	1	740
	7	1	49		31	1	263	20/05	2	1	340
	8	1	60		36	1	174		8	1	300
	9	4	182		2	1	83		9	1	340
	10	1	41		36	1	155		15	1	280
	12	1	51	10/05	8	1	108		16	2	920
	13	1	46		4	1	271		35	1	620
	24	1	56		10	1	124		32	1	880
	27	3	113		12	2	635		27	1	360
	28	2	72		17	1	55		26	1	340
	30	1	57	32/05	24	1	335	22/05	19	1	620
	31	1	49		33	1	228	23/05	5	1	1000
	32	1	46	11/05	4	1	243		16	2	2660
	37	1	59		9	2	560		27	1	1060
12/05	38	2	94		35	1	434		40	1	780
30/05	3	1	71	12/05	28	1	118	24/05	3	1	800
	11	1	78		31	1	415		10	1	680
	14	1	31		35	1	480		25	1	260
	17	1	50	13/05	18	1	280	25/05	1	1	460
	20	1	37		28	1	585		4	1	1460
	23	1	86		38	1	373		16	1	1240
	26	1	67	14/05	2	1	357		27	1	480
	37	1	70		4	1	150		35	1	240
13/05	40	1	74		5	1	261		38	1	1540
14/05	2	1	115		24	1	153	26/05	5	1	1680
	3	1	70		32	1	473		6	1	1320
	8	1	58	15/05	14	1	364		8	1	1620
	17	1	53		27	1	384		17	1	520
	22	1	52		24	1	526		21	1	1600
	25	2	140		35	1	399		26	3	2220
31/05	5	1	47		37	2	633	27/05	9	1	1480
	8	1	35	16/05	7	2	680		38	1	1060
	12	1	51		14	1	660	28/05	2	1	600
6/05	4	1	141		27	1	360		14	1	1900
7/05	14	1	233		37	1	340		18	1	240
	20	1	165	17/05	1	1	600		25	1	1660
	23	1	123		14	1	300				

MG2Mix 28/04/2014









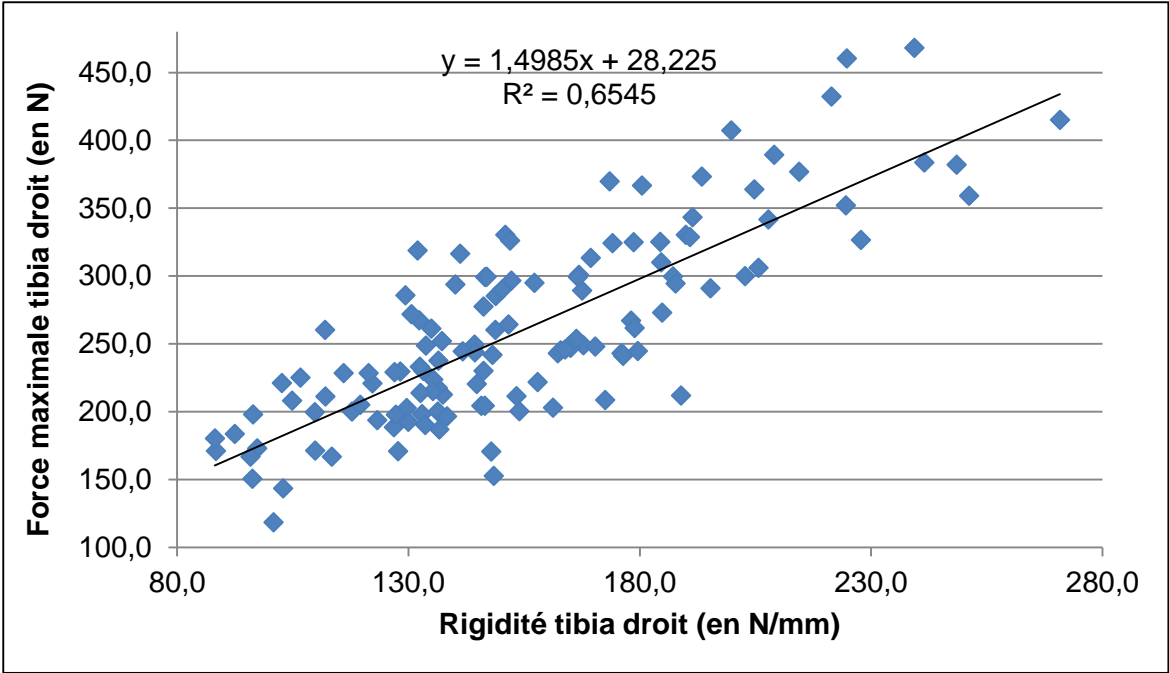
Annexe V : Fiche de suivi de la température et de l'hygrométrie dans le bâtiment

**Fiche de Relevé Température**

T°C		Consigne	Sonde 1		Sonde 2		Sonde 3		Sonde 4		Extérieur		Hygrométrie
Date	Age		Mini	Maxi	Mini	Maxi	Mini	Maxi	Mini	Maxi	Mini	Maxi	
29/04/14	0	30											
30/04/14	1	30	29,8	31,2	29,4	31	30	31,2	29	30,6	7,8	18,2	4,6
01/05/14	2	30	29,6	31,2	29,2	30,8	29,6	31	29	30,6	7,8	18,2	4,6
02/05/14	3	30	29,2	31,2	29,8	30,8	29,6	31	29	30,6	7,8	18,2	4,6
03/05/14	4	30	29,8	30,2	29,2	30,8	29,6	31	29	30,6	7,8	18,2	4,6
04/05/14	5	30	29,8	30,2	29,2	30,8	29,6	31	29	30,6	7,8	18,2	4,6
05/05/14	6	30	29,8	30,2	29,4	30,4	29,2	30,4	29,6	30	7,8	18,2	4,6
06/05/14	7	30	29,6	30,6	29,2	30,8	29,2	30,4	29,2	29,8	6,6	18,2	4,6
07/05/14	8	30	29,4	30,6	29,2	29,8	29,6	30,4	29,2	30,2	6,6	18,2	4,6
08/05/14	9	30	29,2	30,4	29,6	29,8	29,8	30,2	29,2	29,8	6,6	18,2	4,6
09/05/14	10	30	29,4	28,4	29,6	28,2	29,4	29,2	29,2	7,8	10,8	22,4	5,2
10/05/14	11	30	29,4	28,4	29,6	29,2	29,4	29,2	29,2	7,8	9,8	22,4	5,2
11/05/14	12	30	29,6	29,8	29,8	29,6	29,4	29,4	29,2	29,4	7,8	17,6	5,2
12/05/14	13	30	29,2	29,2	29,6	29,2	29,4	29,2	29,2	29,4	7,8	17,6	5,2
13/05/14	14	30	29,6	29,2	29,4	29,4	29,8	29,8	29,2	29,2	7,8	17,6	5,2
14/05/14	15	30	29,6	29,2	29,2	29,2	29,2	29,2	29,2	29,2	7,8	17,6	5,2
15/05/14	16	30	29,2	29,2	29,8	29,4	29,6	29,8	29,4	29,4	6,6	17,6	5,2
16/05/14	17	30	29,2	29,6	29,4	29,2	29,4	29,6	29,2	29,6	6,6	17,6	5,2
17/05/14	18	30	29,6	29,2	29,4	29,4	29,2	29,2	29,2	29,6	6,6	17,6	5,2
18/05/14	19	30	29,4	29,2	29,4	29,4	29,2	29,2	29,2	29,2	6,6	17,6	5,2
19/05/14	20	30	29,2	29,2	29,2	29,4	29,2	29,2	29,2	29,2	6,6	17,6	5,2
20/05/14	21	30	29,8	29,2	29,8	29,8	29,4	29,8	29,2	29,2	6,6	17,6	5,2
21/05/14	22	30	29,4	29,2	29,2	29,6	29,2	29,2	29,2	29,2	6,6	17,6	5,2
22/05/14	23	30	29,2	29,2	29,2	29,4	29,2	29,2	29,2	29,2	6,6	17,6	5,2
23/05/14	24	30	29,6	29,4	29,4	29,6	29,4	29,4	29,2	29,6	6,6	17,6	5,2
24/05/14	25	30	29,2	29,8	29,4	29,4	29,2	29,2	29,2	29,2	6,6	17,6	5,2
25/05/14	26	30	29,8	29,2	29,2	29,2	29,2	29,2	29,2	29,2	6,6	17,6	5,2
26/05/14	27	30	29,4	29,2	29,2	29,2	29,2	29,2	29,2	29,2	6,6	17,6	5,2
27/05/14	28	30	29,2	29,6	29,2	29,4	29,2	29,2	29,2	29,2	6,6	17,6	5,2
28/05/14	29	30	29,6	29,8	29,8	29,4	29,6	29,2	29,2	29,2	6,6	17,6	5,2
29/05/14	30	30	29,4	29,8	29,8	29,4	29,8	29,2	29,2	29,2	6,6	17,6	5,2
30/05/14	31	30	29,8	29,8	29,8	29,8	29,2	29,2	29,2	29,2	6,6	17,6	5,2
31/05/14	32	30	29,8	29,8	29,8	29,6	29,2	29,2	29,2	29,2	6,6	17,6	5,2
01/06/14	33	30	29,8	29,8	29,8	29,6	29,2	29,2	29,2	29,2	6,6	17,6	5,2
02/06/14	34	30	29,8	29,8	29,8	29,6	29,2	29,2	29,2	29,2	6,6	17,6	5,2
03/06/14	35	30	29,8	29,8	29,8	29,6	29,2	29,2	29,2	29,2	6,6	17,6	5,2
04/06/14	36	30	29,8	29,8	29,8	29,6	29,2	29,2	29,2	29,2	6,6	17,6	5,2
05/06/14	37	30	29,8	29,8	29,8	29,6	29,2	29,2	29,2	29,2	6,6	17,6	5,2
06/06/14	38	30	29,8	29,8	29,8	29,6	29,2	29,2	29,2	29,2	6,6	17,6	5,2
07/06/14	39	30	29,8	29,8	29,8	29,6	29,2	29,2	29,2	29,2	6,6	17,6	5,2
08/06/14	40	30	29,8	29,8	29,8	29,6	29,2	29,2	29,2	29,2	6,6	17,6	5,2
09/06/14	41	30	29,8	29,8	29,8	29,6	29,2	29,2	29,2	29,2	6,6	17,6	5,2
10/06/14	42	30	29,8	29,8	29,8	29,6	29,2	29,2	29,2	29,2	6,6	17,6	5,2



Annexe VI : Relation entre la force maximale et la rigidité tibiales



Ce graphique a été réalisé à partir de la base de données tibiales de MG2MIX construite durant le stage.



Diplôme : Ingénieur  
Spécialité : Agronomie  
Spécialisation : Ingénierie Zootechnique  
Enseignant référent : Lucile MONTAGNE

Auteur : Maxime LUCAS

Date de naissance : 22/06/1990

Nb pages : 22                      Annexes : 7 pages

Année de soutenance : 2014

Organisme d'accueil : MG2MIX

Adresse : La Basse Haie  
35 220 Châteaubourg

Maîtres de stage : Vincent GERFAULT  
Denis CHEVALIER

**Forme d'apport du phosphore, performances et minéralisation osseuse chez le poulet de chair**  
**Form of phosphorus intake, performance and bone mineralization in broilers**

**Résumé :**

En élevage avicole, satisfaire les besoins des animaux en phosphore et en calcium est primordial. Les phosphates font partie des formes d'apport les plus intéressantes. Il est important pour une firme service en nutrition animale d'avoir une matrice de formulation à jour au niveau de ses matières premières. L'objectif de ce travail était de valider la matrice de MG2MIX en s'intéressant à deux phosphates : le phosphate défluoré et le phosphate Neophos, avec le phosphate bicalcique utilisé comme témoin. Un essai s'est déroulé en station expérimentale sur 3048 poulets de souche Ross PM3 répartis dans 24 cases. Trois régimes voulus identiques du point de vue des apports nutritionnels ont été testés. Les animaux ont été pesés à 10, 21 et 34 jours d'âge. Les tibias de 8 poulets par régime ont été prélevés à 22 et 34 jours puis analysés. Il n'y a pas eu de différence significative entre les régimes pour les performances zootechniques et la minéralisation osseuse. Cela a permis de valider la matrice malgré l'effet significatif du régime pour deux des variables étudiées : le GMQ durant la période 10-21 jours et la rigidité tibiale à 22 jours. Ce dernier résultat est à prendre avec précaution en raison du faible nombre de répétitions par régime pour les données osseuses.

**Abstract:**

In poultry farming, meeting the requirements in phosphorus and calcium of the animals is essential. Phosphates are among the most interesting forms of intake. It is important for a firm providing services in animal nutrition to have a correct matrix of formulation for its raw materials. The objective of this work was the validation of the MG2MIX matrix for two phosphates: DFP phosphate and Neophos phosphate, with dicalcium phosphate used as a control. A trial was conducted in an experimental station on 3048 Ross PM3 broiler strain allocated in 24 boxes. Three diets, chosen to be identical in terms of nutrient intake, were tested. The animal weights were recorded at 10, 21 and 34 days of age. Tibias of 8 chickens per diet were collected at 22 and 34 days and analyzed. None significant difference between diets for growth performance or bone mineralization were shown. The matrix was approved despite the significant effect of the diet for two variables studied: ADG between 10 and 21 days and tibial stiffness at 22 days. This last result should be taken with caution because of the small number of replicates per treatment for bone data.

**Mots-clés :** phosphate, phosphore, poulet de chair, performances, données tibiales

**Key Words:** phosphate, phosphorus, broiler, performance, tibial data