

## VOIES NUTRITIONNELLES D'ECONOMIE DE PHOSPHORE CHEZ LE POULET

Narcy Agnès<sup>1</sup>, Marie-Pierre Létourneau-Montminy<sup>1</sup>, Michel Magnin<sup>2</sup>, Yves Nys<sup>1</sup> et Catherine Jondreville<sup>3</sup>

<sup>1</sup>INRA, UR83 Recherches avicoles - F-37380 NOUZILLY

<sup>2</sup>BASF Nutrition Animale - Z.I. Bellitourne Azé - F-53200 - CHATEAU-GONTIER

<sup>3</sup>INRA, USC 340 Animal et fonctionnalités des produits animaux, Nancy Université– F-54505 VANDOEUVRE-LES-NANCY

### INTRODUCTION

L'envolée des prix sur le marché des phosphates depuis la fin d'année 2007 confronte aujourd'hui le secteur de l'alimentation animale à de nouveaux enjeux. Avec un coût de ces ressources minérales multiplié par 4 entre 2006 et 2008, l'optimisation des apports de phosphore (P) aux volailles est, en effet, devenue un enjeu économique de taille permettant de répondre de surcroît aux préoccupations environnementales. Les rejets de P dans l'environnement, notamment dans les zones à forte densité d'élevage, sont en effet à l'origine de phénomène d'eutrophisation des eaux de surface correspondant au développement d'une flore de surface asphyxiant le milieu (e.g. disparition de la flore naturelle, raréfaction de la vie aquatique). A cela s'ajoute également la question de la durabilité des phosphates d'origine minérale dont les réserves ne sont pas inépuisables, avec actuellement des prévisions de l'ordre de 100 à 250 ans.

Face à ces préoccupations, la réduction des apports de P minéral aux volailles ainsi que la valorisation du phosphore d'origine végétale, notamment par l'usage de phytase microbienne, constituent des alternatives majeures. Cependant, le maintien des performances de croissance et de la minéralisation osseuse chez les animaux implique que ces pratiques soient finement maîtrisées. En particulier, dans des conditions d'apports de P limités, les apports de calcium (Ca) doivent être adaptés.

Dans ce contexte, la démarche suivie en recherche repose sur la mise en œuvre de stratégies d'élevage permettant d'ajuster les apports de P aux besoins des animaux et de maximiser l'utilisation de P, notamment au niveau digestif. Cette question de l'adéquation des apports de P aux besoins des animaux doit être traitée en prenant en compte d'autres facteurs alimentaires tels que l'apport de Ca et de phytase microbienne, dont l'utilisation devient incontournable.

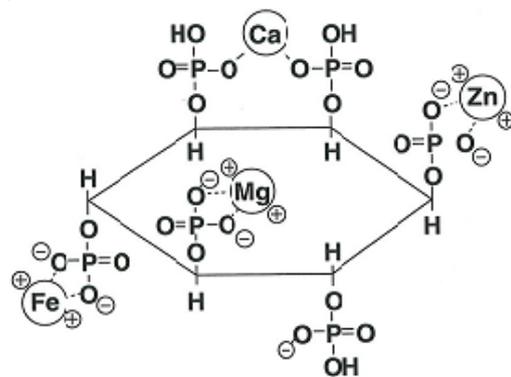
### 1. LE PHOSPHORE ALIMENTAIRE

#### 1.1. Valeurs phosphore des matières premières et des aliments

##### 1.1.1. Phosphore végétal

Le phosphore stocké dans les principales matières premières d'origine végétale utilisées dans l'alimentation des volailles est présent majoritairement (50-85%) sous forme phytique (Tran et Skiba, 2005). Les 15 à 50 % restants correspondent à du P non phytique (phosphoprotéines, phospholipides, nucléoprotéines...). La molécule d'acide phytique contient jusqu'à 6 groupements phosphates qui peuvent interagir avec divers cations (Ca, Mg, K, Zn...) et des protéines formant des complexes appelés phytates (**figure 1**).

**Figure 1.** Structure d'une molécule de phytate, sel mixte d'acide phytique (*myo*-inositol hexaphosphate; IP6).



Les phytates naturels sont principalement des phytates mixtes de magnésium et potassium mais qui pourraient être déplacés par les autres cations présents dans le régime, en particulier Ca, Zn et Fe (Pointillart, 1994).

Le phosphore d'origine phytique a la particularité d'être très peu utilisé par les volailles et plus généralement par les animaux monogastriques qui ne disposent pas de l'équipement enzymatique adéquat pour la déphosphorylation des phytates. Il faut noter que certaines matières premières sont dotées d'une activité phytasique intrinsèque permettant notamment l'utilisation de P au moment de la germination. Par son activité d'hydrolyse, cette enzyme contribue à améliorer l'utilisation du phosphore phytique chez les volailles.

Les tables INRA-AFZ (INRA-AFZ, 2004) recensent, pour chaque matière première, la teneur en P total et la proportion de P phytique. Plus particulièrement pour les céréales à paille et leurs coproduits ainsi que pour certains protéagineux, l'activité phytasique est renseignée (tableau 1).

**Tableau 1.** Teneurs en phosphore total, phosphore phytique et activité phytasique de quelques matières premières.

Matières premières	P total (g/kg)	P phytique (% P total)	Activité phytasique (UI/kg)
Maïs	2,6	75	20
Blé	3,2	65	460
Seigle	3,0	65	5350
Orge	3,4	55	540
Son de blé	9,9	80	1770
Pois	4,0	45	130
T. Soja 48	6,2	60	20
T. Colza	11,4	60	10

*d'après INRA-AFZ, 2004*

Cependant, il faut considérer qu'il existe une variabilité intra et inter matière première des teneurs des différentes formes de P et de l'activité phytasique (Jondreville, et al., 2007, Pointillart, 1994, Tran et Skiba, 2005). Notamment, l'importante variabilité intra matière première de l'activité phytasique explique la difficulté de valoriser la phytase végétale dans l'alimentation des animaux monogastriques.

Dans les tables INRA-AFZ, la valeur P des matières premières correspond pour les volailles à leur teneur en P disponible. Cette notion fait appel à une utilisation globale de la source de P étudiée par l'animal et pour laquelle le critère retenu est la minéralisation osseuse (la majorité de P de l'organisme est stockée dans le squelette). L'approche utilisée est dictée notamment par le fait que les urines et les fèces ne peuvent que difficilement être séparées chez les oiseaux. La disponibilité des matières premières est estimée en comparant l'efficacité relative pour la minéralisation osseuse (teneur en cendres du tibia ou des doigts) obtenue avec des doses croissantes de P provenant de phosphate monocalcique, pris comme référence, à celle de la

matière première à étudier. Pour chacune des sources testées, les animaux étant en état de subcarence en P, une relation linéaire entre l'apport de P et la teneur en cendres de l'os est établie. La disponibilité du phosphore de la matière première est égale au rapport des deux pentes de régression.

### 1.1.2. Phosphore minéral

Compte tenu de la faible valorisation du phosphore phytique par les volailles, le besoin des animaux ne pourra être couvert que par un apport conjoint de P facilement utilisable. Avant leur interdiction dans l'Union Européenne, les farines animales pouvaient permettre de couvrir cet apport. Aujourd'hui, le complément de P nécessaire à l'animal est exclusivement apporté sous forme minérale (phosphates). Dans l'alimentation des volailles, les phosphates bi-, mono- et monobi-calciques sont les sources les plus utilisées. Toutes les tables rendent compte d'une variabilité non négligeable des différents phosphates en termes de disponibilité. La valeur de chaque source est déterminée par rapport à une source de référence (phosphate monosodique) à laquelle est attribuée une valeur de 100% (tableau 2).

**Tableau 2.** Valeurs biologiques relatives (VBR) des principaux phosphates.

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

*d'après INRA-AFZ, 2004*

## 2. BESOINS DE PHOSPHORE

Le phosphore est un élément essentiel au maintien et au fonctionnement normal de l'organisme. Il est présent de façon ubiquitaire dans les tissus et organes, exerçant des fonctions extrêmement variées. Il s'agit principalement de fonctions structurales (membranes et os) ou de régulations. Environ 80% de P de l'organisme sont stockés dans le squelette, les 20% restant se répartissant dans de multiples molécules telles que les nucléotides, les acides nucléiques, les phospholipides (membranes cellulaires) et beaucoup d'autres composés phosphorylés essentiels au métabolisme. La carence phosphorée est reconnue pour entraîner une perte d'appétit influant directement sur les performances des animaux et une atteinte des fonctions de reproduction. Par ailleurs, le phosphore étant principalement localisé dans l'os, une carence de ce dernier peut entraîner une détérioration de la minéralisation osseuse accompagnée de troubles locomoteurs et d'un risque accru de fractures.

La fédération européenne de la World Poultry Science Association (WPSA) (Sauveur, 1985) avait proposé une approche factorielle pour estimer le besoin des volailles adultes. Cette approche faisait intervenir de manière simplifiée un coefficient d'utilisation et une valeur de besoin d'entretien valables pour toutes les espèces. Une approche plus globale a ensuite été privilégiée dans laquelle le besoin a été défini comme l'apport de P permettant de maximiser les performances et la minéralisation osseuse. D'une manière générale, le besoin en P pour atteindre la vitesse de croissance maximale est inférieur à celui correspondant à la minéralisation maximale de l'os (Larbier and Leclercq, 1992).

Les besoins en P des principales espèces de volailles ont été déterminés il y a près de 20 ans (INRA, 1989). Dans le système nord-américain, les normes NRC (National Research Council) pour les volailles datent de 1994 et sont basées sur des recherches publiées entre 1952 et 1983 (NRC, 1994). La validité de ces recommandations dans les conditions actuelles d'élevage suscite donc des interrogations. En effet, les souches commerciales utilisées aujourd'hui sont très différentes de celles disponibles avant les années 90 du fait de la sélection génétique. De plus, les pratiques d'élevage et d'alimentation ont substantiellement évolué. Par ailleurs, il faut noter que ces recommandations sont assorties d'apports recommandés de Ca élevés et pourraient être modulées en fonction de l'apport de Ca, qui, nous le verrons par la suite, joue un rôle déterminant sur la disponibilité de P.

### 3. AMELIORATION DE L'UTILISATION DE PHOSPHORE

#### 3.1. Sources de phosphore bien valorisées par les volailles

L'inclusion dans les aliments de matières premières détenant une activité phytasique intrinsèque élevée représente une voie d'amélioration de la disponibilité de P, non seulement de la matière première en question, mais des autres ingrédients constitutifs de la ration (Sauveur, 1989). Cependant, la phytase végétale est particulièrement thermo-sensible pouvant être inactivée à des températures supérieures à 75-80°C (Jongbloed and Kemme, 1990). Les traitements relatifs à la fabrication des aliments et notamment l'étape de granulation (température élevée) vont donc grandement influencer son efficacité. La valorisation de la phytase végétale dans l'alimentation va donc dépendre de cette étape.

D'après les travaux de Jondreville et al. (2007) réalisés chez le poulet nourri avec des régimes à base de triticale, il a été estimé que 250, 500 et 1000 PU de phytase végétale pouvaient remplacer respectivement 0,46, 0,67 et 0,81 g de P apporté sous forme de phosphate monocalcique.

Par ailleurs, les données de valeurs biologiques relatives des différentes sources de phosphates des tables INRA-AFZ (données EMFEMA) rendent compte de la variabilité qui les caractérise. En dehors de toute considération économique, elles indiquent notamment que le phosphate monocalcique devrait être privilégié par rapport au phosphate bicalcique.

#### 3.2. Utilisation de phytases microbiennes

Les phytases microbiennes sont utilisées depuis près de 20 ans en alimentation animale et occupent aujourd'hui une place majeure, retrouvée dans près de 95% des aliments pour poulets (source BASF, CORPEN). Cette enzyme catalyse la libération de groupements phosphates de l'acide phytique dans le tube digestif des animaux. Différents types de phytases sont disponibles sur le marché. Deux catégories peuvent être déclinées selon le site où l'hydrolyse du phytate est initiée. Les 3- et 6-phytases libèrent préférentiellement le groupement phosphate respectivement en position C3 et C6. On recense des phytases dérivées d'*Aspergillus niger* qui est une 3-phytase et de *Peniophora lycii* et *Escherichia coli* qui sont des 6-phytases. Leur incorporation dans les aliments doit être contrôlée compte tenu de la thermo-sensibilité de l'enzyme, notamment au moment de la granulation.

Dans le tube digestif du poulet, il apparaît que la phytase exogène pourrait exercer son activité d'hydrolyse majoritairement au niveau du jabot et du proventricule-gésier où le pH semble le plus favorable (Kerr, et al., 2000). Cependant, il faut retenir que l'activité de la phytase dans les différents segments du tube digestif ne réfère pas nécessairement au potentiel d'hydrolyse du substrat. En effet, le phytate pour être hydrolysé réclame une étape préalable de solubilisation facilitée à des pH relativement bas (Selle et Ravindran, 2007). Or, des constituants de la ration, tels que le carbonate de Ca, pourraient influencer ce paramètre clé (Shafey, et al., 1991) et jouer sur l'efficacité de la phytase.

Il existe dans la littérature de nombreuses publications traitant de l'effet des phytases microbiennes sur les performances de croissance et la minéralisation osseuse des volailles. Globalement, elles indiquent que l'addition de phytase dans des régimes déficients en P induit une amélioration significative de ces paramètres.

### 4. IMPACT DU CALCIUM ET DE LA PHYTASE SUR LA REPONSE DE POULETS DE CHAIR A L'APPORT DE PHOSPHORE

De nombreuses études ont suggéré que l'effet de l'apport de P sur les performances de croissance et la minéralisation osseuse ne pouvait être dissocié de celui de Ca et ont mis l'accent sur l'importance du ratio Ca:P chez le poulet (Driver, et al., 2005, Rama Rao, et al., 2006, Shafey, et al., 1990).

L'effet délétère de Ca et ce, même à des niveaux considérés comme normaux (0,8 à 1%), dans des régimes bas en P, sur les performances de croissance et la minéralisation osseuse chez le poulet a été observé à de nombreuses reprises (Driver, et al., 2005, Mitchell et Edwards, 1996b, Rama Rao, et al., 2006). En parallèle, l'impact de la phytase microbienne sur les mêmes critères a fait l'objet de nombreuses publications. Cependant, les effets de Ca et de la phytase sur la réponse des animaux à l'apport de P n'ont jamais été réellement quantifiés.

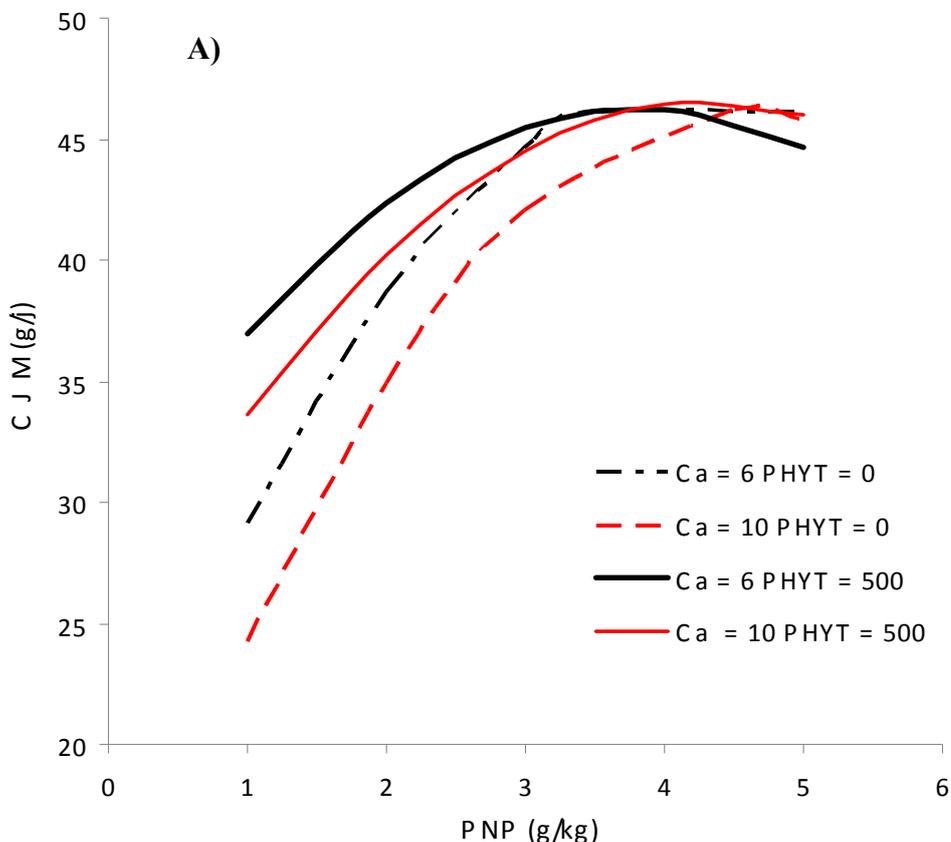
Les données acquises contribueront à préciser les conditions, en terme d'apports de Ca et de phytase, pour lesquelles les apports de P minéral peuvent être réduits sans compromettre les performances et le statut osseux des animaux, ce qui revêt un intérêt économique substantiel.

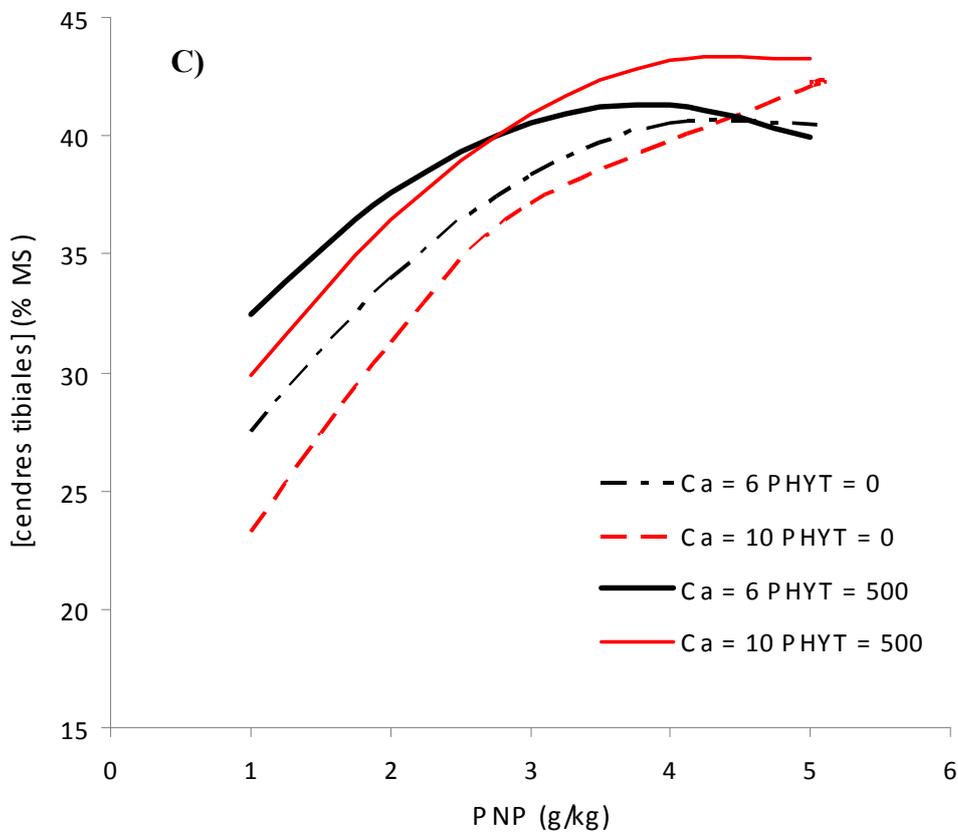
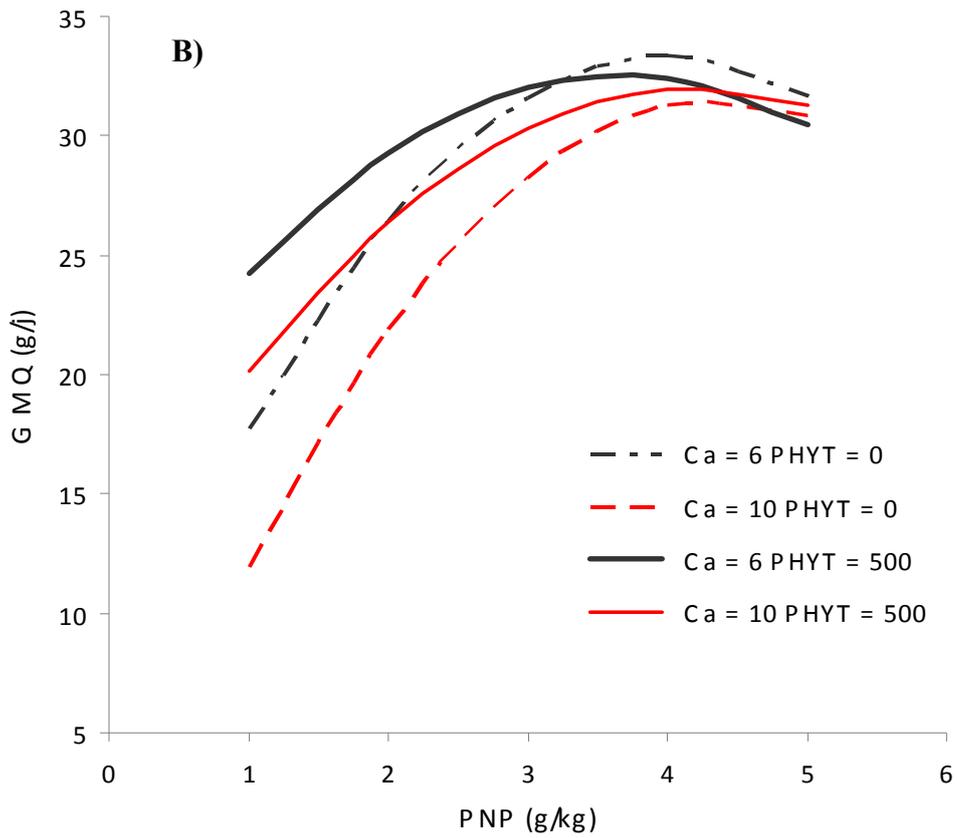
Compte-tenu de la masse de données disponibles dans la littérature pour le poulet élevé jusqu'à 21 jours, une méta-analyse a pu être envisagée. Les publications

sélectionnées, parues entre 1995 et 2006, traitaient de l'effet de la phytase microbienne issue d'*Aspergillus niger* introduite dans des régimes à base de maïs et de tourteau de soja sur l'utilisation de P par des poulets jusqu'à 21-22 jours d'âge. Au total, 203 traitements différents, équivalents à 8 publications, ont été répertoriés.

La réponse des animaux à l'apport de phosphore non phytique (PNP) en fonction de l'apport de Ca et de phytase en termes de consommation journalière moyenne (CJM, g/j), de gain moyen quotidien (GMQ, g/j) et de concentration de cendres tibiales ([cendres tibiales], %MS) sont présentées à la figure 2. La valeur de PNP a été calculée comme la différence entre les concentrations de P total et celles de P phytique estimées à partir des tables de composition des matières premières (INRA-AFZ, 2004). Cette fraction de P correspond donc au P non phytique d'origine végétale et au P minéral.

**Figure 2.** Relation entre l'apport de phosphore non phytique (PNP) et: **A)** la consommation journalière moyenne (g/j), **B)** le gain moyen quotidien (g/j) et **C)** la concentration de cendres tibiales (%MS) en fonction de l'apport de Ca (6 et 10 g/kg) et de phytase (0 et 500 FTU/kg) chez des poulets nourris jusqu'à 21 jours avec un aliment à base de maïs et tourteau de soja.





(Denbow, et al., 1998, Dilger, et al., 2004, Mitchell and Edwards, 1996a, b, Pillai, et al., 2006, Sebastian, et al., 1996, Waldroup, et al., 2000, Yan, et al., 2003)

#### 4.1. La maîtrise des apports de calcium, une voie d'économie de phosphore

##### 4.1.1. Performances de croissance

En l'absence de phytase, pour des apports de PNP faibles, l'augmentation de la concentration de Ca dans les régimes aggrave la détérioration de la CJM et du GMQ et ce, de façon d'autant plus importante que l'apport de PNP est faible. En augmentant l'apport de Ca de 6 à 10 g/kg avec 3,5 g/kg de PNP, la CJM et le GMQ sont diminués respectivement de 4,5% (46,4 vs 44,3 g/j) et 8,2% (32,9 vs 30,2 g/j) tandis que pour un apport de PNP de 1,5 g/kg, les mêmes paramètres sont diminués respectivement de 13% (34,3 vs 30,0 g/j) et 23% (22,5 vs 17,3 g/j). Au pH de l'intestin, le Ca pourrait former des complexes insolubles de phosphates de calcium ( $\text{Ca}_2\text{PO}_4$ ) (Hurwitz et Bar, 1971), limitant par cette voie l'absorption de P. Il est probable que la déficience phosphorée aggravée par le Ca soit à l'origine d'une baisse d'appétit chez les poulets (Underwood et Suttle, 1999) d'autant plus marquée que les oiseaux sont déficients.

D'après les résultats de la méta-analyse, dans les régimes contenant 10 g/kg de Ca, 4,5 et 4,4 g/kg de PNP sont nécessaires pour maximiser respectivement la CJM et le GMQ tandis que le simple fait d'abaisser l'apport de Ca à 6 g/kg permet d'obtenir les mêmes performances avec seulement 3,4 et 3,0 g/kg de PNP. Rama Rao et al. (2006) avait montré des performances similaires chez des poulets nourris de 2 à 14 jours d'âge avec des régimes contenant 9 g/kg de Ca et 4,5 g/kg de PNP ou 6 g/kg de Ca et 3 g/kg de PNP. Les recommandations utilisées à ce jour pour couvrir les besoins de poulets de chair élevés jusqu'à 21 jours préconisent un apport de 10 g de Ca et de 4,2 g de P disponible (INRA, 1989) ou 4,5 g de PNP (NRC, 1994) par kg de régime. Le besoin de PNP recommandé pour un même apport de Ca correspond donc environ à celui rapporté par la méta-analyse (avec 4,4 g/kg pour le GMQ). Cependant, il apparaît clairement que les apports de PNP peuvent être réduits sans conséquences délétères sur les performances de croissance des poulets à condition de réduire parallèlement les apports de Ca.

Il faut considérer que l'utilisation d'un ratio Ca:P constant applicable à tous niveaux de P ne peut être envisagé compte tenu des réponses des animaux. Le ratio Ca:P permettant de maximiser les performances devra être adapté à chaque niveau de P utilisé : d'après les données de la méta-analyse, la maximisation du GMQ était obtenue avec des rapports Ca:P de 2,3 et 2,0 pour des apports respectifs de PNP de 4,4 et 3 g/kg.

##### 4.1.2. Minéralisation osseuse

Le phosphore et le calcium sont les constituants majeurs de l'hydroxyapatite formant la trame minérale de l'os, selon un rapport Ca:P de 2,1. Un apport conjoint et équilibré des deux éléments est donc essentiel à la croissance de l'os. Devant être

fixés simultanément, si un des deux éléments est apporté en excès par rapport à l'autre, celui-ci sera éliminé directement par voie urinaire.

D'après les résultats de la méta-analyse, en l'absence de phytase, pour des apports de PNP faibles, l'augmentation de Ca dans le régime des poulets exercerait un effet délétère sur la [cendres tibiales] et ce, de façon d'autant plus marquée que le PNP est bas. Lorsque l'apport de Ca est augmenté de 6 à 10 g/kg avec 3,5 g de PNP/kg, la [cendres tibiales] est diminuée de 1% tandis que pour un apport de PNP de 1,5 g PNP/kg, elle est diminuée de 11%. Driver et al. (2005) avait rapporté une baisse de 12 et 15% de la concentration de cendres tibiales en augmentant le Ca de 4,4 g/kg à respectivement 8,5 et 10,4 g/kg (PNP=2g/kg). La déficience phosphorée engendrée par des apports faibles de P et aggravée par de fortes teneurs de Ca pénalise donc la minéralisation du tissu osseux en même temps qu'elle limite la croissance de l'animal. Comme il a été développé précédemment, le Ca en limitant l'utilisation digestive de P réduit la quantité de P disponible pour la croissance du tissu osseux. Cependant, la croissance du tissu osseux réclamant des quantités importantes de Ca, celui-ci peut devenir assez vite limitant : dans la méta-analyse, un apport de Ca de 6 g/kg, comparativement à un apport de 10 g/kg, devient insuffisant pour satisfaire la minéralisation osseuse pour des apports de PNP supérieurs à 3,7 g/kg. Tant que le P n'est pas limitant, le maximum de minéralisation osseuse sera obtenu avec des apports de Ca plus élevés.

L'optimisation de la minéralisation tibiale requiert des quantités de PNP plus élevées que pour les performances de croissance, comme évoqué auparavant (Larbier et Leclercq, 1992) : pour 10 g de Ca par kg, plus de 5,0 et 4,4 g/kg de PNP sont nécessaires respectivement pour la [cendres tibiales] et le GMQ alors que pour 6 g/kg de Ca, 4,2 et 3,0 g/kg de PNP sont nécessaires. Le besoin de P plus élevé pour la minéralisation osseuse que pour les performances de croissance s'explique aisément par le fait que la majorité de P de l'organisme est stocké au niveau osseux (~75%).

Les résultats montrent donc qu'il est possible de réduire l'apport de PNP, sans conséquences délétères sur les performances, si l'apport de Ca est simultanément abaissé. Cependant, cette baisse des apports de Ca doit être maîtrisée pour ne pas compromettre la minéralisation osseuse. Pour chaque niveau d'apport de PNP, celui de Ca doit être adapté de façon à favoriser l'utilisation digestive de P et la maximisation des performances et de la minéralisation osseuse.

#### 4.2. Utilisation de la phytase microbienne

##### 4.2.1. Performances de croissance

Les modèles générés dans la méta-analyse révèlent un effet positif de l'addition de phytase (500 FTU/kg) sur la CJM et le GMQ d'autant plus important que

l'apport de PNP est faible. L'apport de phytase microbienne a pour effet d'augmenter la CJM et le GMQ de seulement 2 et 1% pour un apport de PNP de 3 g/kg contre respectivement 27 et 37% pour un apport de PNP de 1,5 g/kg (Ca = 6 g/kg). L'ajout de phytase correspond à un apport de P supplémentaire permettant de contrecarrer la déficience phosphorée et la perte simultanée d'appétit induite par des régimes pauvres en PNP.

Divers auteurs avaient auparavant proposé de réduire les apports de Ca pour favoriser l'efficacité de la phytase microbienne en empêchant la formation de complexes insolubles entre le Ca et les phytates (Qian, et al., 1997, Sebastian, et al., 1996). Cependant, comme les témoins négatifs sans phytase pour chacun des niveaux de Ca étudiés étaient généralement absents dans ces études, une conclusion plus adéquate avait été proposée par Driver et al. (2005) selon qui les animaux présentaient seulement de meilleures performances avec des rapports Ca:P bas. Dans les modèles issus de la méta-analyse, la réponse des animaux à la phytase est favorisée lorsque l'apport de Ca augmente: pour un apport de Ca de 6 g/kg, la phytase provoque une hausse de 10 et 11% de la CJM et du GMQ contre 15 et 21% lorsque l'apport de Ca est élevé à 10 g/kg (PNP = 2 g/kg).

La réponse des animaux à la phytase est d'autant plus marquée que l'apport de Ca est élevé ou que l'apport de PNP est bas. Ainsi, plus l'animal est déficient en P, plus grande est la réponse à la phytase comme il a déjà été évoqué (Driver, et al., 2005, Selle et Ravindran, 2007).

#### 4.2.2. Minéralisation osseuse

Les modèles générés dans la méta-analyse ont révélé un effet positif de l'addition de phytase (500 FTU/kg) sur la [cendres tibiales] dépendant du niveau de PNP. L'apport de phytase microbienne a pour effet d'augmenter la [cendres tibiales] respectivement de 8% pour un apport de PNP de 3,0 g/kg contre 18% pour un apport de PNP de 1,5 g/kg (1).

Parallèlement, comme pour les performances de croissance, dans des conditions d'apports de P faibles, la réponse des animaux à la phytase est exacerbée lorsque le niveau de Ca augmente.

Comme pour les performances de croissance, plus l'animal est déficient en P, plus il répond à la phytase en termes de critères osseux.

#### 4.2.3. Epargne de phosphore imputable à la phytase

D'après la revue de Selle et Ravindran (2007) rassemblant diverses valeurs d'équivalences relatives à la phytase issues de la littérature, il apparaît que 840 FTU de phytase/kg pourraient en moyenne permettre de remplacer 1 g de P minéral/kg. Cependant, il faut noter que ces équivalences divergent beaucoup d'une étude à l'autre, les critères de réponse considérés et les conditions en termes de ratio Ca:P étant très différents. Yonemochi et al. (2000) et Auspurger et al.

(2003) ont rapporté pour 500 FTU/kg de phytase des équivalences de 1,17 et de 1,25 g de P (apporté respectivement sous forme de phosphate défluoré et de phosphate de potassium) pour des apports respectifs de P total de 6,0 et 3,6 et un rapport Ca:P de 1,50 et 2,08.

Or, comme il a été suggéré par certains auteurs (Driver, et al., 2005, Selle et Ravindran, 2007), et le confirme notre méta-analyse, il apparaît difficile de donner une équivalence unique à la phytase microbienne puisque les apports de Ca, de PNP et de phytase sont autant de facteurs qui influencent la réponse de l'animal. Face à ce constat, il est légitime de s'interroger sur la pertinence des équivalences proposées dans la littérature qui ont généralement été déterminées dans des conditions d'apport de P faible et/ou de Ca élevé. La surestimation des équivalences P dans la pratique pourrait s'avérer particulièrement risquée et pourrait se traduire sur le terrain par des pertes de performances et des défauts de minéralisation chez les animaux. Le travail de méta-analyse réalisé permet donc de confirmer qu'en fonction des apports de Ca et de PNP, les équivalences doivent être adaptées. De surcroît, il faut considérer qu'en fonction du critère choisi, les valeurs d'équivalences sont différentes. Dans un régime contenant 10 g/kg de Ca et 2 g/kg de PNP, l'addition de 500 FTU/kg de phytase équivaut à 0,76 g/kg de PNP pour le GMQ tandis que pour un apport de Ca de 6 g/kg, elle représente 0,63 g/kg. De plus, pour un apport de 3 g/kg de PNP, l'ajout de 500 FTU/kg de phytase permet une épargne de 0,60 et 0,23 g/kg de PNP respectivement pour un apport de Ca de 10 et 6 g/kg. En utilisant le critère de [cendres tibiales], il apparaît que l'ajout de 500 FTU de phytase par kg permet d'économiser 0,80 et 0,73 g de P pour des apports de Ca de 10 et 6 g/kg respectivement et un apport de PNP de 2 g/kg. L'économie de P pour un apport de 3 g/kg est de 0,86 et 0,77 g respectivement pour des apports de Ca de 10 et 6 g/kg.

#### 4.2.4. Apports de calcium limitants pour la minéralisation

Bien que la baisse des apports de Ca puisse favoriser l'utilisation digestive de P, il faut considérer que le Ca peut à son tour devenir le facteur limitant pour la minéralisation osseuse et ce, notamment dans les régimes supplémentés en phytase. Dans ces conditions, même si l'addition de phytase favorise l'absorption de P et améliore les performances de croissance, le Ca peut ne pas être suffisant pour permettre de fixer au niveau de la trame minérale de l'os la totalité du P disponible dont l'excès sera évacué par voie urinaire.

Il a été montré chez le poulet que la baisse des apports de Ca de 8,3 à 5,3 g/kg, pour un apport de PNP de 3,5 g/kg, favorisait les performances de croissance mais entraînait une détérioration de la minéralisation osseuse avec une baisse de 5 et 7% respectivement du poids sec et du poids de cendres du tibia (Létourneau-

Montminy, et al., 2008). Dans cette même étude, le dépôt de cendres par g de Ca ingéré était augmenté de 34% tandis que le dépôt de cendres par g de P ingéré était diminué de 14% lorsque l'apport de Ca était réduit. Ces résultats illustraient donc clairement une augmentation de l'utilisation de Ca mais une diminution de celle de P. Par ailleurs, il avait été montré qu'en même temps que la baisse des apports de Ca stimulait l'absorption de P, les pertes urinaires étaient augmentées (Al-Masri, 1995). Ces résultats soulignent donc la nécessité de maîtriser la baisse des apports de Ca en vue de ne pas compromettre la minéralisation osseuse et de prévenir les problèmes locomoteurs qui pourraient lui être associés.

## CONCLUSION

La quantification des effets de Ca et de phytase sur la réponse de poulets à l'apport de phosphore non-

phytique ouvre de nouvelles perspectives notamment en termes de formulation. Elle constitue une base pour la détermination d'équivalences P pour la phytase microbienne prenant en compte les niveaux d'apport de PNP et de Ca. Pour répondre aux préoccupations économiques actuelles, une baisse des apports de P minéral sans détérioration des performances de croissance est concevable à condition d'abaisser parallèlement le Ca. Retenons toutefois que cette baisse des apports de Ca doit être maîtrisée, notamment dans les régimes supplémentés en phytase microbienne, le Ca pouvant devenir limitant pour la minéralisation osseuse. Un équilibre d'apport entre P et Ca doit donc être trouvé de façon à maintenir un bon niveau de performances et une minéralisation osseuse suffisante. Dans ce cadre, le ratio Ca:P optimal est à définir pour chacun des niveaux d'apport de P.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Al-Masri M. R., 1995. *Br J Nutr*, (74), 407-415.
- Augspurger N. I., Webel D. M., Lei X. G. et Baker D. H., 2003. *J. Anim. Sci.*, (81), 474-483.
- Denbow D. M., Grabau E. A., Lacy G. H., Kornegay E. T., Russell D. R. et Umbeck P. F., 1998. *Poult. Sci.*, (77), 878-881.
- Dilger R. N., Onyango E. M., Sands J. S. et Adeola O., 2004. *Poult. Sci.*, (83), 962-970.
- Driver J. P., Pesti G. M., Bakalli R. I. et Edwards J. H. M., 2005. *Poult. Sci.*, (84), 1406-1417.
- EMFEMA, 2008. International Association of the European Manufacturers of Major, Trace and Specific Feed Mineral Materials (février 2009). <http://www.emfema.org/bio/20020701Bioavailabilitystudy2.pdf>.
- Hurwitz S. et Bar A., 1971. *J. Nutr.*, (101), 677-686.
- INRA-AFZ, 2004. pp304.
- INRA, 1989. L'alimentation des animaux monogastriques: Porc, lapin, volailles Paris, pp282.
- Jondreville C., Genthon C., Bouguennec A., Carré B. et Nys Y., 2007. *Brit. Poult. Sci.*, (48), 678-689.
- Jongbloed A. W. et Kemme P. A., 1990. *Anim. Feed Sci. Technol.*, (28), 233-242.
- Kerr M. J., Classen H. L. et Newkirk R. W., 2000. *Poult. Sci.*, (79 (Suppl. 1)), 11.
- Larbier M. et Leclercq B., 1992. Nutrition et alimentation des volailles Paris, pp355.
- Létourneau-Montminy M. P., Lescoat P., Narcy A., Sauviant D., Bernier J. F., Magnin M., Pomar C., Nys Y. et Jondreville C., 2008. *Brit. Poult. Sci.*, (49), 705-715.
- Mitchell R. D. et Edwards H. M., 1996a. *Poult. Sci.*, (75), 111-119.
- Mitchell R. D. et Edwards H. M., 1996b. *Poult. Sci.*, (75), 95-110.
- NRC, 1994. Nutrient requirement of poultry (9th rev.), Washington, DC, pp155.
- Pillai P. B., O'Connor-Dennie T., Owens C. M. et Emmert J. L., 2006. *Poult. Sci.*, (85), 1737-1745.
- Pointillart A., 1994. *INRA Prod. Anim.*, (7), 29-39.
- Qian H., Kornegay E. T. et Denbow D. M., 1997. *Poult. Sci.*, (76), 37-46.
- Rama Rao S. V., Raju M. V. L. N., Reddy M. R. et Pavani P., 2006. *Anim. Feed Sci. Technol.*, (131), 133-148.
- Sauveur B., 1989. *INRA Prod. Anim.*, (2), 343-351.
- Sauveur B., 1985. *Rev. Alim. Anim.*, (389), 46-48.
- Sebastian S., Touchburn S. P., Chavez E. R. et Lague P. C., 1996. *Poult. Sci.*, (75), 1516-1523.
- Selle P. H. et Ravindran V., 2007. *Anim. Feed Sci. Technol.*, (135), 1-41.
- Shafey T. M., McDonald M. W. et Dingle J. G., 1991. *Br. Poult. Sci.*, (32), 185-194.
- Shafey T. M., McDonald M. W. et Pym R. A. E., 1990. *Br. Poult. Sci.*, (31), 587-602.
- Tran G. et Skiba F., 2005. *INRA Prod. Anim.*, (18), 159-168.
- Underwood E. J. et Suttle N. F., 1999. The mineral nutrition of livestock (3rd), Wallingford, GBR.
- Waldroup P. W., Kersey J. H., Saleh E. A., Fritts C. A., Yan F., Stilborn H. L., Crum R. C. et Raboy V., 2000. *Poult. Sci.*, (79), 1451-1459.
- Yan F., Kersey J. H., Fritts C. A. et Waldroup P. W., 2003. *Poult. Sci.*, (82), 294-300.
- Yonemochi C., Takagi H., Hanazumi M., Hijikuro M., Koide S., Ina T. et Okada T., 2000. *Jpn. Poult. Sci.*, (37), 154-161.