

# Lois de réponses des volailles de chair à l'apport de phosphore

P. LESCOAT<sup>1</sup>, A. TRAVEL<sup>2</sup>, Y. NYS<sup>1</sup>

<sup>1</sup> INRA, Station de recherches Avicoles, F-37380 Nouzilly

<sup>2</sup> ITAVI, F-37380 Nouzilly

Courriel : lescoat@tours.inra.fr

L'optimisation de la supplémentation en phosphore (P) dans l'alimentation des volailles est une approche efficace pour maîtriser les rejets en phosphore et réduire l'eutrophisation des eaux de surface tout en maintenant de bonnes performances. Les matières premières végétales sont principalement composées de phosphore phytique, indisponible pour les animaux monogastriques qui ne possèdent pas de phytase intestinale (Nys *et al* 1997). Le P phytique, qui représente en moyenne les deux tiers du P total des végétaux, n'est partiellement hydrolysé que dans les matières premières contenant des phytases végétales, expliquant la grande variabilité de leur disponibilité en phosphore (Tran et Skiba 2005). Des lois de réponses aux apports de P ont été précédemment définies pour optimiser les performances des volailles (Sauveur 1983). Elles doivent être actualisées en prenant en compte les progrès génétiques enregistrés pendant les dernières décennies pour les critères à optimiser (Indice de Consommation, IC ; Gain Moyen Quotidien, GMQ). La connaissance des facteurs faisant varier ces paramètres est motivée par la nécessité de réduire les rejets de phosphore dans l'environnement afin d'assurer la durabilité des systèmes d'élevage.

## 1 / Elaboration de la base de données «phosphore et performances des volailles de chair»

Une collecte aussi exhaustive que possible des publications contenant les mots-clés phosphore et volailles de chair a été mise en oeuvre. Une limite dans le temps (1984) a été fixée pour prendre en compte les évolutions gé-

tiques rapides de ces espèces. Des données en nombre suffisant ont été obtenues pour les poulets en croissance de sexe mâle (82 % des traitements initialement collectés). Les rares données relatives aux femelles ont été écartées des calculs. Quarante sept expérimentations, correspondant à 789 traitements, ont été conservées pour cette étude. Les effets testés dans des environnements variables, notamment en terme de température, sont en premier lieu des apports combinés de P et de Calcium (Ca) provenant de sources plus ou moins disponibles. Ces facteurs de variation ont été croisés avec des apports variables de phytases (26 expérimentations représentant 411 traitements) et de Vitamine D (7 expérimentations pour 162 traitements). Par ailleurs, une composante génétique liée aux génotypes utilisés dans les expérimentations influence les résultats mais n'est connue que pour 527 traitements (correspondant à 12 génotypes). Pour les dindes, 9 expérimentations et 338 traitements ont été retenus. Les principaux facteurs, hormis les niveaux de Ca et P, sont le génotype (2), le sexe (2) et la supplémentation en phytases (3 expérimentations correspondant à 131 traitements). Enfin, pour les canards, 6 expérimentations incluant 144 traitements forment la base de données. Parmi celles-ci, 4 étudient l'effet des phytases et représentent 59 observations.

Les variables décrivent les animaux (sexe, génotype, âge en début et fin de mesures, ...), la composition minérale des aliments (Ca, g/kg), P sous forme de phosphore phytique et non-phytique, g/kg). Protéines et énergie ont été considérées comme apportées en «quantité et qualité suffisantes» en accord avec les auteurs. La quantification du P alimentaire a pris en compte

uniquement les formes effectivement analysées dans les différentes expérimentations, P total ou P minéral. En effet, le P «disponible», décrit dans les publications, correspond au phosphore minéral supplémenté incluant ou non le P de la fraction végétale susceptible d'être absorbée. Une attention particulière a été portée à l'activité phytasique des aliments, mesurée ou théorique. Il s'agit quasiment toujours de l'activité phytasique microbienne et non végétale. En termes de performances globales, le Poids Vif (PV, g), le Gain Moyen Quotidien (GMQ, g/j) et l'Indice de Consommation (IC, g d'aliment/g de gain) ont été recueillis. Deux catégories de variables ont été collectées pour quantifier les aspects absorption et métabolisme minéral : les rétentions ou rejets de Ca et P total et la minéralisation du tissu osseux (tibia ou doigts).

La base de données représente un dispositif expérimental très fortement déséquilibré. Il est donc important de considérer avec la plus grande prudence les équations ressortant de ce travail en n'oubliant pas la diversité de l'origine des données et des méthodes mises en œuvre ainsi que les probables colinéarités entre variables. Notre approche a privilégié les aspects graphiques pour faire apparaître des tendances générales puis des parties de la base plus homogènes ont été isolées afin de les traiter de façon indépendante. La méta-analyse présentée ici respecte, autant que faire se peut, les étapes proposées par Sauvage *et al* (2005). Cependant, étant donnée la variabilité des observations prises en compte, les auteurs proposent de s'arrêter aux approches graphiques décrivant des lois de réponse directement lues sur les figures.

Les statistiques correspondent à des ajustements globaux en considérant

chaque traitement d'un essai comme une observation. Les modèles choisis l'ont été selon le critère du meilleur ajustement au sens graphique du terme et non une interprétation biologique des paramètres obtenus. Par conséquent, l'interprétation des équations est plutôt orientée vers une utilisation pratique que vers la compréhension des mécanismes biologiques sous-jacents.

## 2 / Optimisation des performances zootechniques en fonction de l'apport de P

### Poulet en croissance

Pour étudier les réponses en terme de GMQ et d'IC, seuls les poulets abattus entre 22 et 24 jours ont été retenus. En effet, ces deux variables sont fortement corrélées à l'âge. Par conséquent, la sélection d'une tranche d'abattage précise traduit mieux la relation entre performance et apport de phosphore en s'affranchissant de l'influence du facteur âge sur les performances. L'effet «génotypes» a été considéré, car les formats des animaux varient largement selon l'origine génétique. Un croisement utilisé en station expérimentale («New Hampshire X Columbian») a été écarté car les performances de ces poulets sont trop faibles comparées à celles des génotypes commerciaux. Les variables explicatives testées ont été les teneurs en P et en Ca (g/kg), le rapport Ca/P et l'ingestion quotidienne de P (mg/j).

La relation entre GMQ et P alimentaire total suit une forme linéaire avec un plateau : le GMQ augmente jusqu'à une teneur de P comprise entre 6 et 7 g/kg d'aliment puis se stabilise pour des concentrations supérieures. L'ajustement statistique correspond à un modèle logistique :

$$GMQ_{ij} = 33,7 / (1 + 18,172 \cdot \exp(-0,898 \cdot P_i)) + \varepsilon_{ij}$$

$n = 367$   $R^2 = 0,36$ ,  $etr = 4,07$ ,  $\varepsilon_{ij}$   
erreur résiduelle (figure 1a)

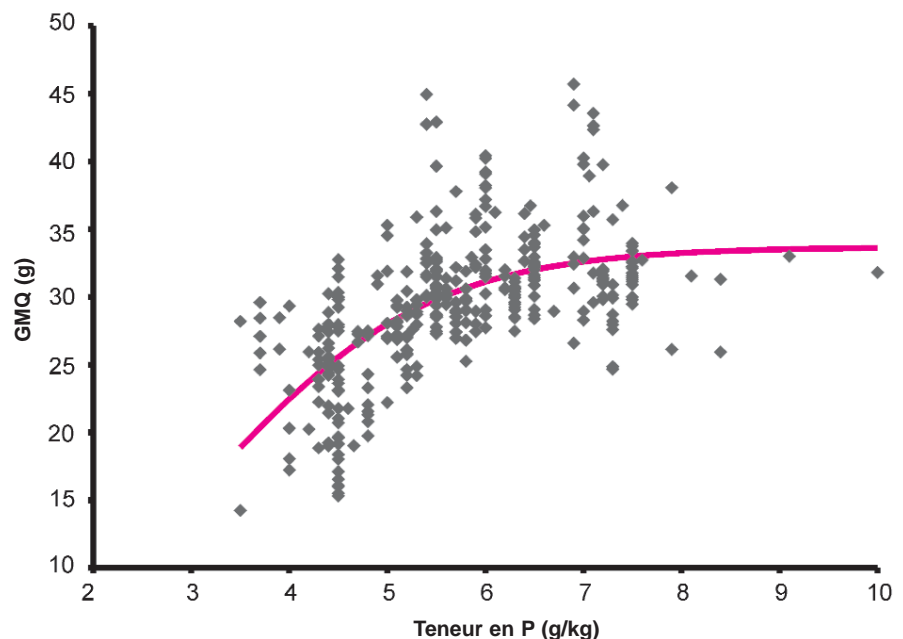
Le GMQ dépend de l'ingestion de P selon une relation de type exponentielle avec une inflexion du GMQ au-delà de 300 à 350 mg de P ingérés par jour :

$$GMQ_{ij} = 38,87 \cdot (1 - \exp(-0,00589 \cdot \text{Ingestion} P_i)) + \varepsilon_{ij}$$

$n = 298$   $R^2 = 0,59$   $etr = 3,08$  (figure 1b)

Le rapport Ca/P influence le GMQ : le maximum est obtenu autour d'un ratio de 1,4. Pour les valeurs les plus hautes du rapport, cette diminution du GMQ est autant due à des situations où Ca et P ont évolué simultanément qu'à

**Figure 1a.** Relation entre le GMQ et la teneur en P chez le poulet entre 21 et 24 jours.



des expérimentations où le phosphore est diminué jusqu'à un niveau de subcarence. L'ajustement statistique choisi est un modèle quadratique :

$$GMQ_{ij} = 20,44 + 17,55 \cdot Ca/P_i - 6,925 \cdot (Ca/P_i)^2 + \varepsilon_{ij}$$

$n = 352$   $R^2 = 0,34$   $etr = 4,12$  (figure 1c)

Seuls les animaux dont l'IC correspondait de façon certaine à la période d'élevage de 1 à 21 ou 22 jours ont été conservés pour l'étude de l'IC afin d'en limiter l'hétérogénéité. Les modèles obtenus sont, malgré ces précautions, nettement moins précis que ceux développés pour le GMQ.

Un modèle logistique décrit correctement le lien entre l'IC et la teneur de l'aliment en P. L'indice de consumma-

tion est minimal lorsque l'aliment contient entre 6 et 7 g/kg de P :

$$IC_{ij} = 1,4166 / (1 - 2,133 \cdot \exp(-0,7166 \cdot P_i)) + \varepsilon_{ij}$$

$n = 284$ ,  $R^2 = 0,19$ ,  $etr = 0,11$  (figure 2a)

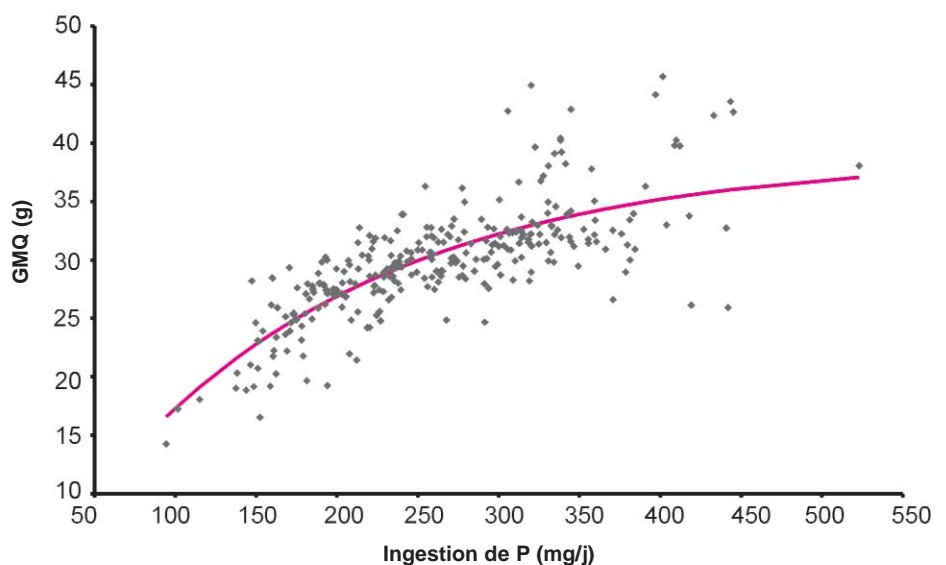
Lorsque l'apport de phosphore est exprimé en ingestion journalière de P, le modèle exponentiel confirme l'amélioration progressive de l'indice de consommation jusqu'à une ingestion moyenne journalière de 400 mg de P pour les trois premières semaines de vie :

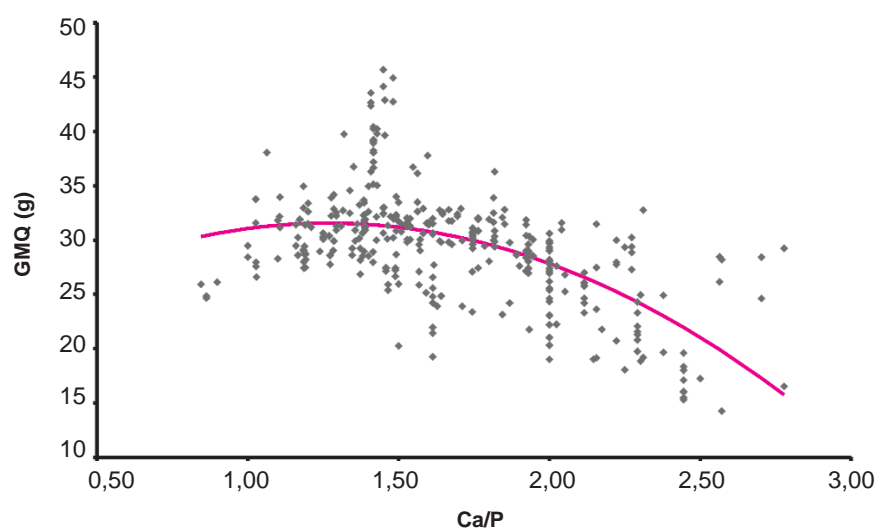
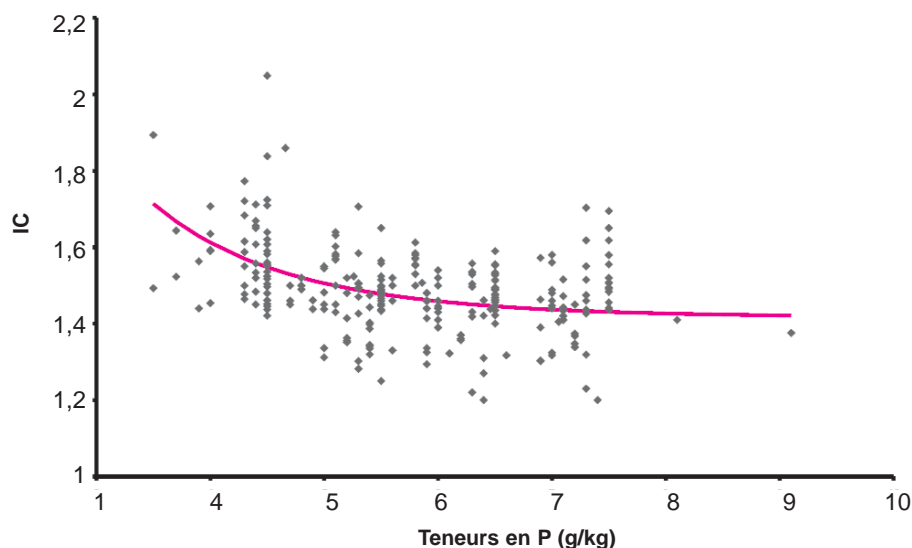
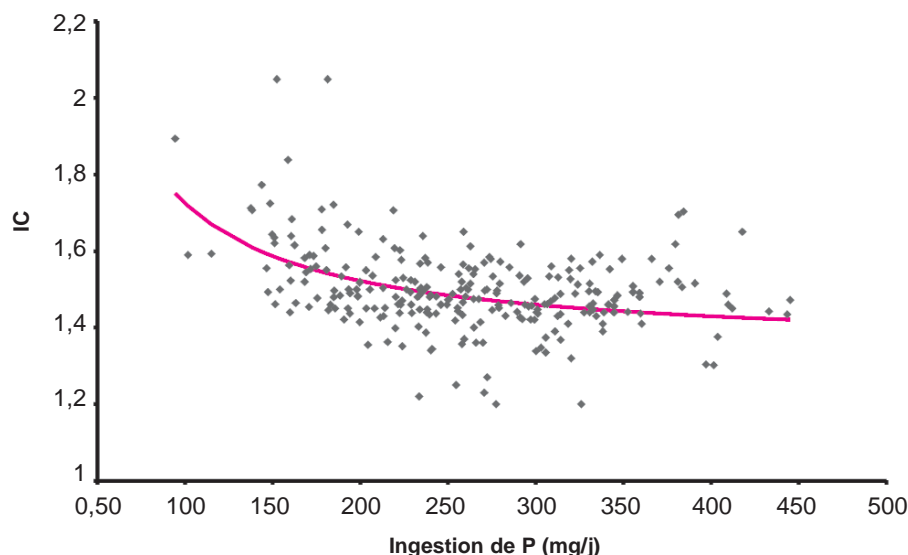
$$IC_{ij} = 1,343 \cdot \exp((25,04 / \text{Ingestion } P_i)) + \varepsilon_{ij}$$

$n = 265$ ,  $R^2 = 0,16$ ,  $etr = 0,11$  (figure 2b)

Enfin, un modèle quadratique décrivant l'évolution de l'IC en fonction du

**Figure 1b.** Relation entre le GMQ et l'ingestion de P chez le poulet entre 21 et 24 jours.



**Figure 1c.** Relation entre le GMQ et le rapport Ca/P chez le poulet entre 21 et 24 jours.**Figure 2a.** Relation entre l'IC et la teneur en P chez un poulet entre 1 et 21 jours.**Figure 2b.** Relation entre l'IC et l'ingestion de P chez le poulet de 1 à 21 jours.

rapport Ca/P indique que le minimum de IC est observé lorsque le rapport Ca/P avoisine 1,4 :

$$IC_{ij} = 1,65 - 0,318 * (Ca/P_i) + 0,1275 * (Ca/P_i)^2 + \varepsilon_{ij}$$

$n = 270, R^2 = 0,21, \text{etr} = 0,11$  (figure 2c)

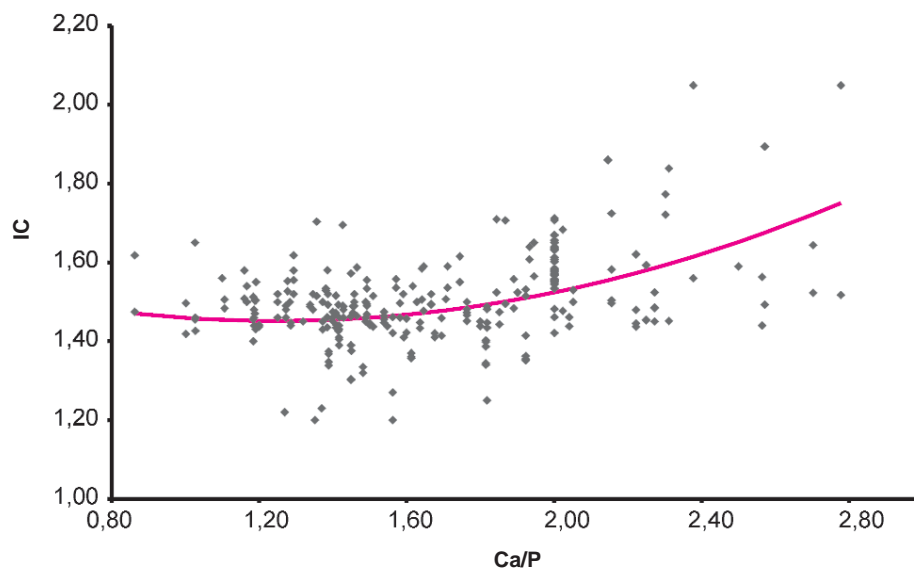
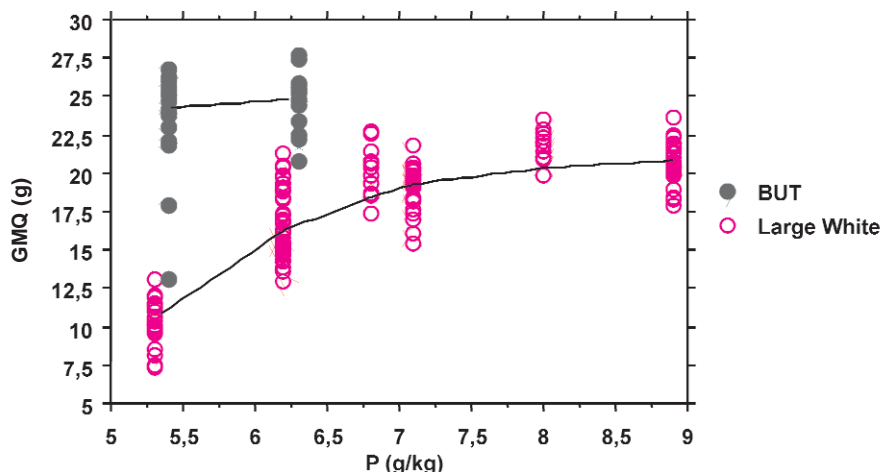
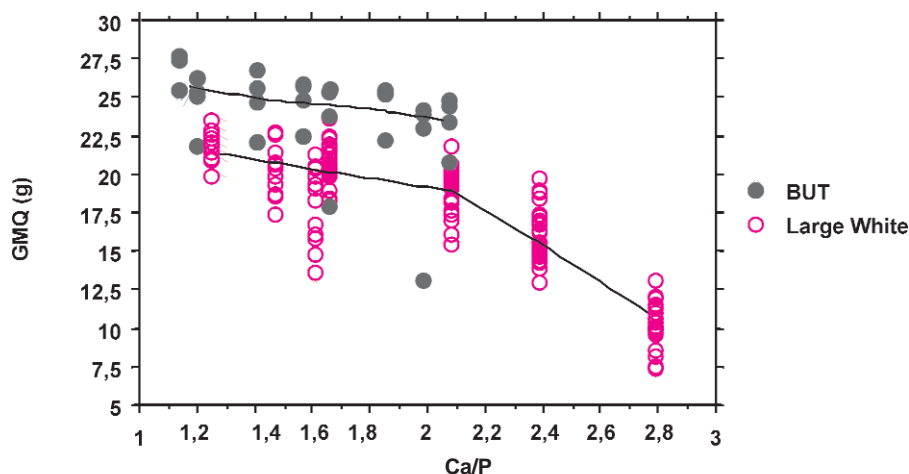
#### ***Dindes males et femelles en croissance***

Le nombre d'expérimentations disponibles est limité. Seules les mesures faites pour des animaux abattus à 21 jours ont été prises en compte, car quasiment toutes les observations ont été faites à cette période d'élevage. L'analyse ne peut être conduite, faute d'un nombre suffisant de données, pour les autres périodes bien que l'IC et le GMQ varient fortement avec l'âge. Pour la période initiale d'élevage, les lois de réponse sont relativement précises pour le GMQ, comme l'illustrent les figures 3a, 3b et 3c. Elles confirment que le besoin en phosphore pour la croissance du dindon est supérieur à celui du poulet, même si la détermination de la recommandation reste à effectuer. Un rapport Ca/P supérieur à 2 est défavorable à la croissance notamment pour les dindons Large White, même lorsque suffisamment de P est présent dans l'aliment. Ces résultats ne peuvent être extrapolés aux périodes ultérieures de croissance de 4 à 14 semaines d'âge. L'absence de données expérimentales pour ces phases ne permet pas de conclure ce qui est d'autant plus dommageable qu'elles correspondent à la plus grande quantité d'aliment consommé et de P excrété.

#### ***Canards***

Aucun effet zootechnique du niveau alimentaire de P n'apparaît tant sur l'IC que sur le GMQ dans les essais disponibles. Ces observations confirment celles de Bernardet *et al* (2005) chez le canard mulard montrant que cette espèce tolère bien des teneurs très faibles de P dans son aliment.

En conclusion chez les volailles, les teneurs en P alimentaire total, le rapport Ca/P et l'ingestion de P sont dans les expériences analysées, les facteurs principaux influençant les performances zootechniques mais elles n'expliquent qu'une partie des variations observées. D'autres facteurs de variations devraient être pris en compte : la nature des matières premières et la disponibilité des sources de phosphore, la présence de phytases et les conditions environnementales, notamment la température. Les matières premières influencent les performances essentiellement par leur niveau d'activité phytase.

**Figure 2c.** Relation entre l'IC et le rapport Ca/P chez le poulet entre 1 et 21 jours.**Figure 3a.** Relation entre la teneur en P (g/kg) de l'aliment et le GMQ (g) des dindons de 1 à 21 jours en fonction de la lignée (BUT ou Large White).**Figure 3b.** Relation entre le rapport Ca/P et le GMQ (g) des dindons de 1 à 21 jours en fonction de la lignée (BUT ou Large White).

sique végétale et, pour une moindre part, de par leur teneur en phosphore phytique. De nombreuses revues (Sauveur 1983, 1989 ; Nys *et al* 1997) soulignent l'intérêt de la prise en compte de la disponibilité du phosphore végétal en fonction du niveau d'activité phytasique de la matière première. L'instabilité de cette activité phytasique après traitement thermique peut cependant constituer une limite à cet ajustement. La teneur en phosphore phytique de l'aliment influence le potentiel de libération de phosphore par les phytases microbiennes ou végétales de l'aliment. Cette influence des phytates sur la disponibilité du P de l'aliment est, cependant, à relativiser car, hormis les régimes expérimentaux extrêmes, la teneur en phosphore phytique des aliments composés varie dans une gamme restreinte de 2 à 3 g/kg pour plus de 400 observations. Le ratio céréales-source de protéine relativement stable pour une période d'élevage explique cette constance. L'influence significative des phytases microbiennes est décrite par notre méta-analyse. A titre d'exemple, leur ajout à des aliments poulets ayant une teneur en P de 4,5 g/kg augmente le GMQ de 10 g ( $p < 0,01$ ,  $n = 39$ ) sur la période 0-3 semaines. Leur présence explique une part non négligeable de la variation des figures 1a, 1b et 1c. Cependant, l'impact des phytases doit d'abord être quantifié sur la disponibilité du P alimentaire donc sur la rétention et les rejets de cet élément.

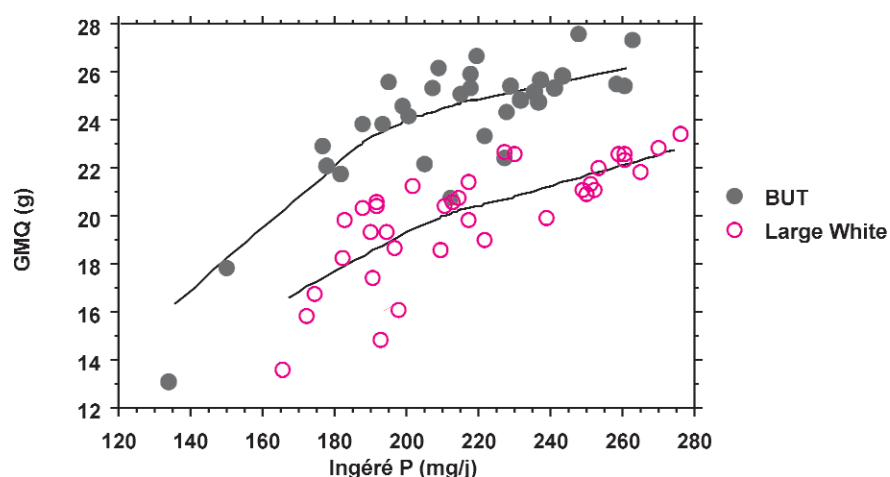
### 3 / Rétention et rejet de P

#### 3.1 / Rétention apparente du P

Une approche graphique montre l'existence d'un lien global relativement faible et négatif entre la teneur en P de l'aliment et la rétention apparente de P chez le poulet de chair (figure 4). Ce graphique souligne surtout la grande variabilité de ce critère, entre 15 et 80 %. La nature des matières premières testées n'a pas été prise en compte, même si les disponibilités du P varient fortement, notamment pour le phosphore phytique. La rétention du phosphore des aliments non supplémentés en phosphore minéral varie de 20 à 60 % du fait de la présence de phytase végétale dans certaines matières premières (Sauveur 1989, Nys *et al* 1997). Ainsi, l'ensemble des valeurs de rétention apparente du P inférieures à 20 % observées sur la figure 4 sont liées à la présence de phosphore phytique comme unique source de P et à l'utilisation de



**Figure 3c.** Relation entre l'ingéré de P (mg/j) et le GMQ (g) des dindons de 1 à 21 jours en fonction de la lignée (BUT ou Large White).



céréales sans phytase végétale active dans des essais de rétention de très courtes durées. La supplémentation en phytases microbiennes et l'apport de vitamine D agissent soit directement, en favorisant l'absorption de P soit, indirectement en stimulant celle de Ca. Enfin, les méthodes de mesures de la rétention sont diverses et, sans doute, biaisées par les flux endogènes, le choix des techniques de collecte ou de marquage des fientes. Elles induisent ainsi une forte variation entre expérimentations.

L'effet le plus important sur la rétention du P résulte de l'introduction dans l'aliment de phytases microbiennes. Une comparaison de la rétention moyenne de phosphore total où le niveau de supplémentation de phytase est pris en compte montre un effet positif proportionnel à la dose de ces enzymes sur la rétention de P chez le poulet en croissance (tableau 1), cet effet provenant principalement d'une amélioration de la rétention de phosphore phy-

**Tableau 1.** Influence du niveau d'activité phytasique sur la rétention de P chez le poulet de chair.

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

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

tique (tableau 2). En effet, la supplémentation de l'aliment en phytase microbienne double la valeur de rétention apparente de phosphore phytique avec des valeurs passant de 36 à 75 %. L'apport de Vitamine D dans l'aliment, influence également la rétention de P total ( $P < 0,01$ ,  $n = 105$ , gain de 4,6 % de rétention) et celle de phosphore phytique ( $P < 0,01$ ,  $n = 88$ , gain de 21,2 % de rétention). Néanmoins, cet effet

**Tableau 2.** Influence du niveau d'activité phytasique sur la rétention apparente du phosphore phytique chez le poulet de chair.

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

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

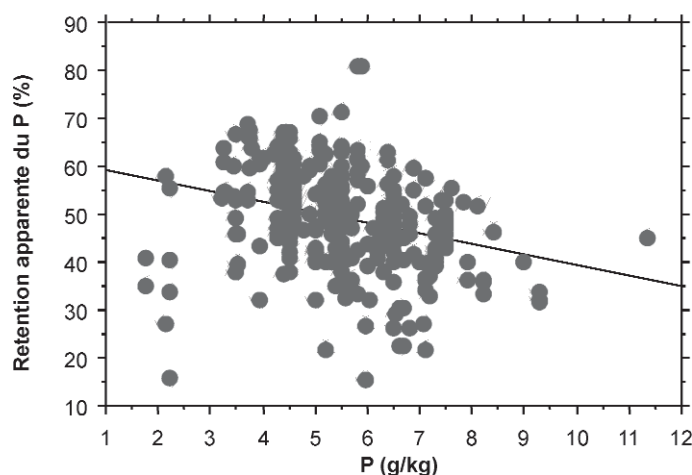
n'explique qu'une petite fraction de la variabilité observée et doit être considéré avec précaution.

Une approche identique a montré des résultats similaires chez la dinde : l'effet est directement proportionnel au niveau de phytases microbiennes ajoutées (Qian *et al* 1996). Le taux de rétention de P diminue en fonction de sa concentration dans l'aliment (Qian *et al* 1996, Li *et al* 2001). Peu de données sont disponibles actuellement et les animaux n'ont été testés qu'à 21 jours. Ces données ne peuvent être extrapolées aux périodes de croissance et finition des dindes. De la même façon, les résultats obtenus chez le canard montrent des effets du même ordre que ceux observés chez le poulet de chair et chez la dinde pour la teneur en P et le niveau de phytases microbiennes supplémentées comme l'illustre la figure 5 construite à partir des données de Wendt *et al* (2005) et Bernardet *et al* (2005). Il est, cependant, difficile de quantifier ces analogies avec les poulets de chair à partir de deux expérimentations seulement.

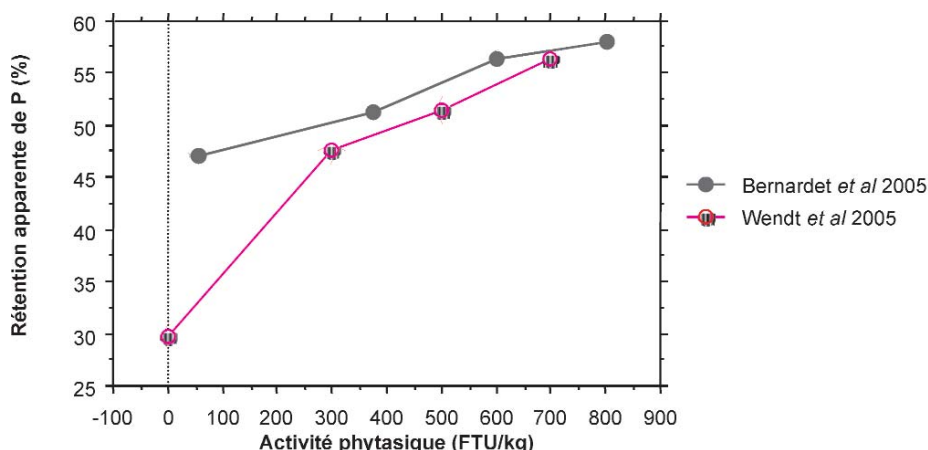
### 3.2 / Rejets de P dans les excréta

La réduction des rejets en phosphore des élevages avicoles est une préoccupation majeure pour éviter l'eutrophication des eaux de surface. Les deux voies immédiates de maîtrise nutritionnelle sont, d'une part, la réduction des teneurs en P des aliments et, d'autre part, l'amélioration de la rétention du P ingéré. Chez les poulets de chair la teneur en P des fientes dépend directement de celle de l'aliment (figure 6 ;  $n = 101$ ,  $R^2 = 0,46$ ). Le même type de relation est observé chez la dinde par Travel *et al* (2005). Une réduction des apports de phosphore minéral dans l'aliment semble particulièrement réalisable en période de finition. En effet, la consommation d'aliment est maximale pendant cette phase et le risque associé à la réduction de la marge de sécurité

**Figure 4.** Relation entre la teneur en P (g/kg) de l'aliment et la rétention apparente de P (%).



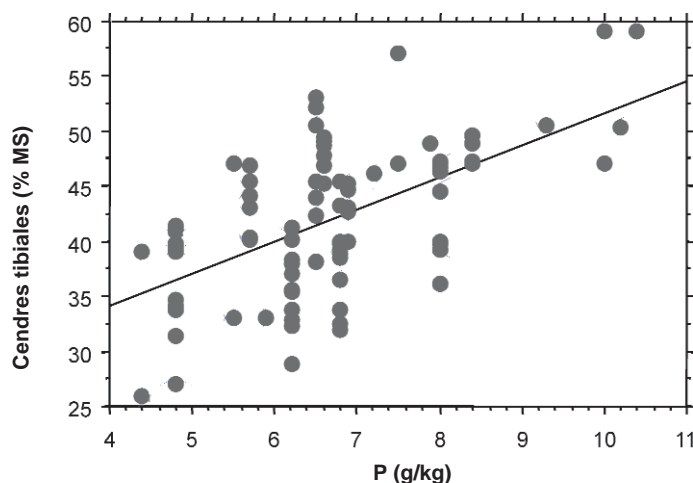
**Figure 5.** Relation entre l'activité phytasique de l'aliment (FTU/kg) et la rétention apparente du P (%) chez le canard.



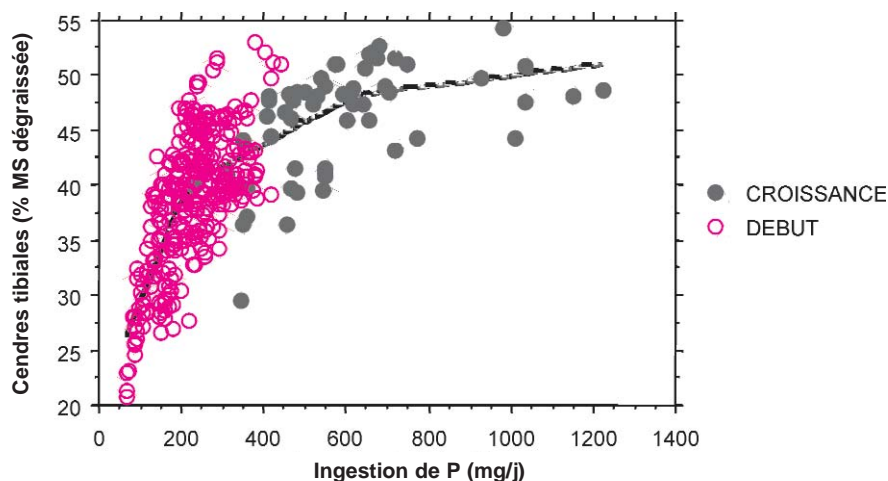
d'apport de P pourrait être minimal. Néanmoins, les approches sur ces phases d'élevages étant très rares chez la dinde, il est prudent d'attendre la confirmation zootechnique de ces possibilités de diminution d'apport avant de les mettre en œuvre. Enfin, la sup-

plémentation de phytase microbienne dans l'aliment diminue les rejets de phosphore chez les poulets de chair de 0,12 % pour une teneur moyenne de 1,04 % de P dans les fientes sèches.

**Figure 6.** Relation entre les teneurs en P respectives de l'aliment (P g/kg) et des fientes (% MS) chez les poulets de chair.



**Figure 7.** Relation entre l'ingestion de P (mg/j) et la teneur en cendres tibiales (% MS) pour des poulets de moins (DEBUT) et plus (CROISSANCE) de 28 jours.



#### 4 / Minéralisation du tissu osseux (tibia et doigts) et apport de P

La teneur en cendres tibiales augmente en fonction du niveau d'ingestion de P (mg/j), jusqu'à un plateau (figure 7). Néanmoins, dans cette relation se superposent les effets liés à l'âge à l'abattage (inférieur ou supérieur à 28 j) qui influencent le niveau de consommation alimentaire et la teneur en P de l'aliment. L'effet spécifique dû au niveau de phosphore dans l'aliment en n'utilisant que les données correspondant aux animaux abattus entre 21 et 24 jours d'âge, se stabilise au-delà d'une ingestion de 250 à 300 mg/ jour de phosphore (figure 8). Le modèle d'ajustement proposé est une exponentielle qui fait apparaître une asymptote maximale atteinte pour des quantités de phosphore ingérées importantes (supérieures à 500 mg/j) :

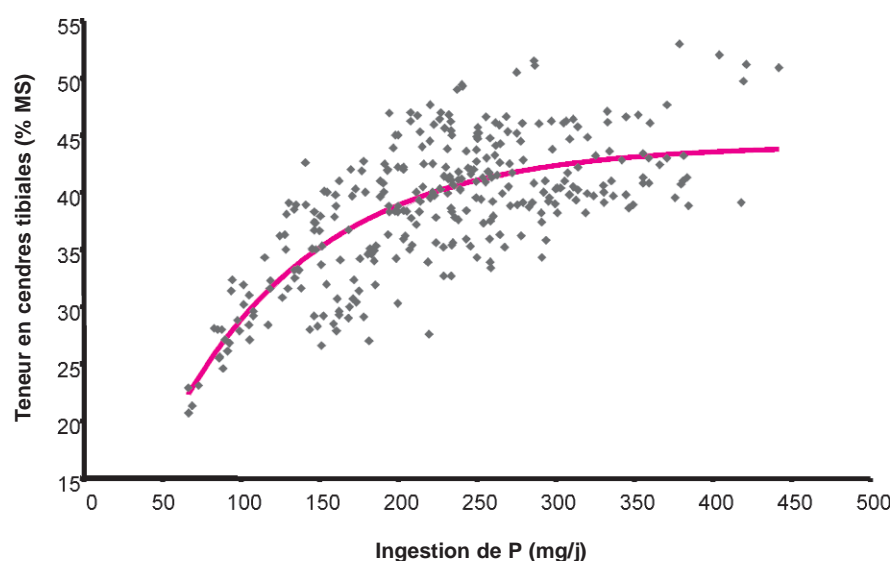
$$\text{Cendres Tibiales}_{ij} = 44,2 * (1 - \text{Exp}(-0,0105 * \text{Ingéré de P}_i)) + \varepsilon_{ij}$$

$n = 316, R^2 = 0,54, \text{etr} = 4,07$  (figure 8)

La présence de phytase microbienne influence notablement la minéralisation tibiale. Le modèle d'analyse de variance à deux facteurs significatifs (expérience et niveau de phytase, (sans interaction significative)), réalisé sur les données issues des régimes contenant moins de 0,5 % de P total, donc peu supplémentés en P minéral suggère un effet significatif et positif de l'apport de phytase sur la minéralisation tibiale (tableau 3).

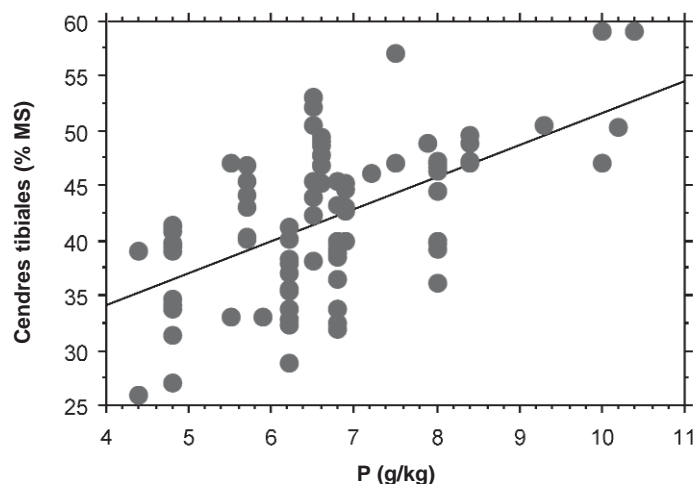
Les expérimentations sur dindes sont peu nombreuses. Le faible nombre d'observations indique qu'il n'y a pas d'effet âge sur le niveau de minéralisation (entre 14 et 56 jours) et que la teneur en cendres est liée linéairement mais assez faiblement à la teneur en P de l'aliment (figure 9 ;  $R^2 = 0,31$  pour  $n = 92$ ). Une seule expérimentation teste de manière peu concluante la supplémentation en phytases qui reste donc à vérifier chez les dindes. Chez les canards, trois expérimentations ont été analysées pour les teneurs en cendres tibiales. Elles montrent des tendances identiques à celles observées chez le poulet de chair.

Une autre mesure indicatrice de la minéralisation est la teneur en cendres des doigts, exprimée généralement en pourcentage de la matière sèche. Chez les poulets de chair, la teneur en cendres des doigts est linéairement

**Figure 8.** Relation entre l'ingestion de P (mg/j) et la teneur en cendres tibiales (% MS).**Tableau 3.** Influence de l'apport de phytase sur la teneur en cendres tibiales pour des régimes comprenant moins de 5 g/kg de P chez le poulet de chair.

Activité phytasique (FTU/Kg)	N	Cendres Tibiales (% MS dégraissée) (Ecart-type)
Moins de 70	24	34,1 (1,2) a
De 500 à 750	19	39,3 (1,3) b
De 800 à 1000	9	41,8 (1,2) c

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

**Figure 9.** Relation entre les teneurs en P (P, g/kg) de l'aliment et en cendres tibiales (% MS) chez la dinde.**Tableau 4.** Influence de l'apport de phytase sur la teneur en cendres des doigts pour des régimes comprenant moins de 5 g/kg de P chez le poulet de chair.

Activité phytasique (FTU/Kg)	N	Cendres du doigt (% MS dégraissée ou non) (Ecart-type)
Moins de 40	9	10,3 (0,3) a
De 150 à 400	14	11,2 (0,3) b
De 450 à 650	11	11,5 (0,2) b
De 650 à 800	5	11,8 (0,6) b
Plus de 1000	12	11,9 (0,3) b

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

reliée aux teneurs en P, Ca et au rapport Ca/P.

$$\begin{aligned} \text{Teneurs en cendres des doigts}_{ij} = \\ 22(1,9) - 1,4(0,3) * P_i + 1,2(0,2) * Ca_i - 8,3(1,1) * Ca/P_i + \varepsilon_{ij} \\ n = 159 \quad R^2 = 0,60, \quad \text{etr} = 0,93 \end{aligned}$$

L'ajout de phytases microbiennes à des régimes pauvres en P (moins de 0,5 %), augmente la teneur en cendres des doigts (tableau 4). La réponse à la supplémentation en phytase devrait être précisée en dissociant notamment les données obtenues selon différentes méthodes de préparation des doigts à la mesure des cendres (séchés ou non, dégraissés ou non), qui modifient significativement les valeurs obtenues.

Chez les dindes, l'augmentation de la teneur en cendres des doigts est largement expliquée par les apports phosphocalciques. Le modèle obtenu inclut P, Ca et Ca/P :

$$\begin{aligned} \text{Teneurs en cendres des doigts}_{ij} = \\ 27(2,6) - 2,2(0,44) * P_i + 2,2(0,25) * Ca_i - 14,6(1,4) * Ca/P_i + \varepsilon_{ij} \\ n = 151 \quad R^2 = 0,87, \quad \text{etr} = 1,06 \end{aligned}$$

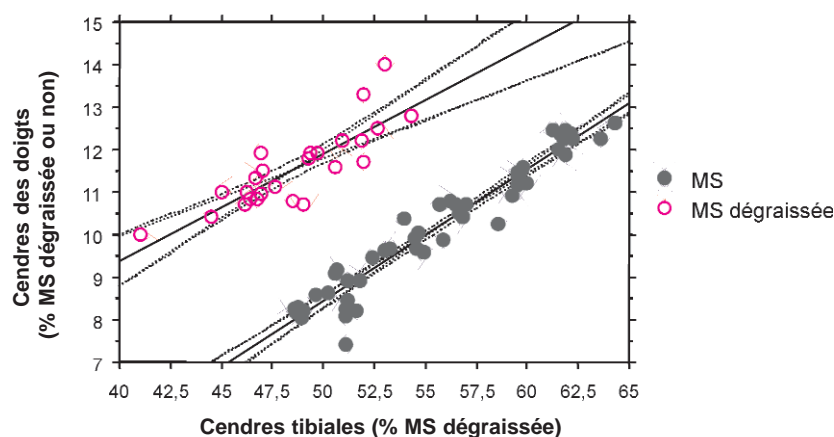
La mesure des cendres des doigts semble une méthode plus simple et au moins aussi discriminante de la réponse animale que la mesure des cendres tibiales. Il existe une bonne corrélation entre les teneurs en cendres des doigts et celles en cendres du tibia séché dégraissé (figure 10). Les teneurs en cendres des phalanges séchées semblent même être un indicateur plus précis que les cendres tibiales.

## Discussion et perspectives

Les premières lois de réponses présentées dans cette synthèse sont globalement cohérentes et consolident par un plus grand nombre de données les recommandations antérieures en P pour optimiser la croissance, l'indice de consommation ou la minéralisation osseuse des poulets. Cette approche souligne de plus les interactions entre phosphore et calcium (importance du rapport phospho-calcique) et l'influence de la vitamine D.

La principale difficulté rencontrée pour la formulation de recommandations actualisées réside dans la définition de la notion de biodisponibilité du phosphore pour les volailles. Dans cette première étape, nous avons privilégié l'analyse indiscutable du phosphore total ou minéral ajouté et, par ailleurs, traduit en valeur relative l'amélioration de la rétention de phosphore due à la supplémentation de l'aliment en phytases microbiennes.

**Figure 10.** Relation entre cendres tibiales et des doigts selon la méthode de mesure sur les doigts (dégraissées ou non).



La prochaine étape devra intégrer la part de phosphore phytique rendu « disponible » par la présence de phytases. L'objectif sera d'aboutir à un système de formulation des apports en P des aliments pour volailles de chair prenant en compte la nature du P (phytique ou non, minéral), le niveau d'activité phytasique (végétale et microbienne), le rapport Ca/P et d'autres éléments dont la vitamine D.

Par ailleurs, cette méta-analyse souligne les carences de données publiées pour les périodes essentielles de fini-

tion chez le poulet mais encore plus chez les dindes après l'âge de 3 semaines. Plusieurs démarches expérimentales en cours devraient combler partiellement ce déficit et permettre de proposer des normes qui soient également utiles en terme de protection de l'environnement. Les informations sont limitées chez le canard mais confirment des besoins en P relativement faibles pour cette espèce.

Les limites de la méta-analyse présentée tiennent à plusieurs aspects. L'ensemble des analyses statistiques

sont faites de façon globale en prenant rarement en compte l'effet de l'expérience. Par conséquent, les lois proposées peuvent manquer de précision et sont perfectibles notamment en triant les données en fonction de facteurs de variation pouvant influencer les performances. Un second aspect est le tri qui doit être fait de façon plus claire parmi les publications par domaines d'objectifs. Une troisième limite tient aux mesures irrégulièrement utilisables d'une publication à l'autre. Par exemple, la prise en compte de la teneur en fluor des matières premières pourrait être un facteur influençant le besoin en phosphore mais il est rarement disponible dans les publications.

Les réponses multiples aux apports alimentaires de P soulignent la nécessité de mieux connaître les mécanismes sous-jacents influençant les performances des animaux afin de mieux optimiser les systèmes de production tant d'un point de vue économique qu'environnemental. Des approches de modélisation mécaniste pourraient être une piste complémentaire de l'approche empirique du présent travail.

## Références

- Bernardet M.D., Guy G., Broz J., Nys Y., 2005. Effet de l'apport d'une phytase microbienne (Ronozyne P5000) chez le canard de barbarie sur la rétention de phosphore. 6<sup>e</sup> Journ. Rech. Avicole, Saint-Malo, France, 30-31 mars, 226-229.
- Li, Y.C., Ledoux D.R., Veum T.L., Raboy V., Zyla K., 2001. Low phytic acid barley improves performance, bone mineralization, and phosphorus retention in turkey poults. J. Appl. Poult. Res., 10, 178-185.
- Nys, Y., Frapin D., Pointillart A., 1997. Occurrence of phytases in plants, animals and microorganisms. In : Phytase in Animal Nutrition and Management : a BASF Reference Manual 1997, Coelho, M.B., Kornegay E.T. (ed), 213-236, BASF USA.
- Qian H., Kornegay E.T., Denbow D.M., 1996. Phosphorus equivalence of microbial phytase in turkey diets as influenced by calcium to phosphorus ratios and phosphorus levels. Poult. Sci., 75, 69-81.
- Sauvant D., Schmidely P., Daudin J.J., 2005. Les méta-analyses des données expérimentales : applications en nutrition animale. INRA Prod. Anim., 18, 63-73.
- Sauveur B., 1983. Alimentation phosphorée des volailles. Journée CAAA, Paris, 19 mai, 16p.
- Sauveur B., 1989. Phosphore phytique et phytases dans l'alimentation des volailles. INRA Prod. Anim., 2, 343-351.
- Tran G., Skiba F., 2005. Variabilité inter et intra matière première de la teneur en phosphore total et phytique et de l'activité phytasique. INRA Prod. Anim., 18, 159-168.
- Travel A., Bouvarel I., Aubert C., Chagneau A.M., Hallouis J.M., Juin H., Relandeau C., Buttin P., Broz J., Lessire M., 2005. Réduction des rejets en azote et phosphore par voie alimentaire chez le dindon en finition à performances constantes. 6<sup>e</sup> Journ. Rech. Avicole, Saint-Malo, France, 30-31 mars, 345-349.
- Wendt P., Rodehutschord M., Braun J., Magnin M., Feuerstein D., 2005. Effet dose-réponse de la 3-phytase d'*Aspergillus niger* sur l'utilisation du phosphore et du calcium chez le canard. 6<sup>e</sup> Journ. Rech. Avicole, Saint-Malo, France, 30-31 mars, 230-233.

*La liste des références incluses dans l'analyse quantitative est disponible auprès des auteurs.*

## Résumé

Le phosphore en excès est un élément néfaste pour l'environnement et coûteux pour l'alimentation des volailles. Une méta-analyse a été conduite sur les données de 62 publications représentant 1271 observations chez les poulets de chair, dindes et canards afin de visualiser les réponses des performances de volaille aux apports de phosphore (P) alimentaire. Pour le GMQ et l'IC des poulets de chair, les concentrations alimentaires optimales obtenues varient de 6 à 7 g de P total par kg d'aliment, pour un rapport Ca/P compris entre 1,4 et 1,6. Des valeurs supérieures sont observées chez les dindes. La rétention du P par l'animal diminue avec la teneur en P de l'aliment mais augmen-



te avec l'ajout de phytases microbiennes. Cette supplémentation qui libère une partie du phosphore phytique, autorise une réduction des apports de phosphore minéral et par conséquent réduit le rejet de phosphore. Les apports alimentaires de P et de phytases microbiennes renforcent la minéralisation. La minéralisation osseuse est optimale pour des niveaux d'ingestion moyens de 1 à 21 j de 250 à 300 mg de P par jour. La présente méta-analyse a été conduite en utilisant la mesure exacte du P total de l'aliment, contrairement à la pratique, justifiée, d'utiliser le niveau de P disponible estimé. La prochaine étape sera d'analyser les résultats en fonction du P disponible après avoir fiabilisé son estimation en prenant en compte les effets matières premières, phytase et autres (vitamine D, rapport Ca/P...). Enfin, ce travail a souligné que si de nombreuses données sont disponibles chez le jeune poulet de chair, elles sont rares chez les dindes et les canards notamment pendant les périodes de finition où des marges de progrès réelles sont envisageables.

## Abstract

---

### *Responses of growing poultry to phosphorus supply*

Excessive levels of Phosphorus (P) in poultry feeds is environmentally unfriendly and costly. A meta-analysis was performed to propose poultry responses to P supply. Sixty two publications with 1271 observations in broilers, turkeys and ducks were collected. Optimal values for Daily Body Weight Gain and Feed Conversion Ratio varied from 6 to 7 g of total P by kg of diet, with a Ca/P ratio ranging from 1.4 to 1.6. Higher values were obtained for turkeys. P apparent retention decreased with total P in the diet and increased with microbial phytase supply, thanks to phytic P improved availability. This increased P retention leads to lower P excretion in the environment. Furthermore, P and microbial phytase supplies increased bone mineralization with an optimal average P intake of 250 to 300 mg/d for 0-3 weeks-old broilers. The present study was performed on total P in the diet. However, feeds are usually formulated on available P basis. Therefore, the following step of this work will be to translate the obtained results and equations into available P by including additional effects of feedstuffs, phytases, Ca/P ratio, Vitamin D. Moreover, this work underlines that if numerous data are available for young broilers, few are for turkeys and ducks especially during the finishing periods, for which further research might bring foreseeable improvements.

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

