

IMPACT DES APPORTS ALIMENTAIRES DE PHOSPHORE ET DE CALCIUM SUR LEUR DEPOT DANS LES TISSUS MOUS ET LE SQUELETTE DU POULET DE CHAIR

Agnès Narcy¹, Xavière Rousseau¹, Nathalie Mème¹, Michel Magnin² et Yves Nys¹

¹INRA UR83 Recherches avicoles, 37380 Nouzilly, France

²MiXscience, 7 Avenue René Cassin, ZI de Bellitourne, 53200 Azé, France
agnes.narcy@tours.inra.fr

RÉSUMÉ

Le calcium (Ca) alimentaire est susceptible d'affecter la disponibilité digestive du phosphore (P), les performances de croissance et la minéralisation osseuse. Les apports de ces deux éléments doivent être suffisants et équilibrés pour assurer leur dépôt optimal dans le squelette, leur principal réservoir. L'objectif de l'étude était donc d'évaluer l'impact des teneurs de P et de Ca dans l'aliment du poulet de chair sur l'efficacité de dépôt de P et Ca dans la carcasse et leur répartition entre le squelette et les tissus mous. Quatre aliments expérimentaux ont ainsi été formulés selon deux niveaux de P non-phytique (PNP ; 3,0 et 4,5 g/kg) et deux niveaux de Ca (6,0 et 10 g/kg) et testés chez des poulets mâles ROSS entre 10 et 22 jours d'âge. Au 22^{ème} jour, 6 animaux par traitement ont été euthanasiés et plumés, et les contenus digestifs retirés. L'ensemble du squelette a ensuite été excisé. Chacun des compartiments (squelette vs tissus mous/plumes) a été analysé pour déterminer les teneurs en cendres, P et Ca. La baisse de PNP dans les régimes a réduit de 29 et 38% les quantités de P ingéré et excrété respectivement ($P<0,001$), de 10% le poids vif (PV; $P<0,01$) et de 13% le gain de poids ($P<0,01$). Les proportions dans l'os augmentent de 95 à 97 % pour le Ca ($P<0,05$) et de 60 à 65 % pour le P ($P<0,01$) avec l'apport de PNP alimentaire. Le niveau bas de PNP diminue également les dépôts de cendres, de P et de Ca osseux (-21, -22 et -24% respectivement ; $P<0,001$) sans que les tissus mous ne soient affectés. Le faible apport de Ca alimentaire restaure le gain de poids ($P=0,029$; +9,2%) et le dépôt osseux de P ($P<0,05$; +14%) mais réduit le ratio Ca:P de l'os (1,98 vs 1,89). L'analyse par régression indique que la baisse de l'apport de Ca permet d'optimiser la quantité totale de P déposé par rapport au PV chez les animaux ayant reçu le régime le moins concentré en PNP ($Ca \times PNP$, $P=0,033$). Ainsi, l'apport de Ca module les performances de croissance mais également le dépôt de P au niveau de la carcasse de façon dépendante du niveau de PNP et doit donc être adapté en fonction des objectifs de production.

ABSTRACT

Impact of dietary phosphorus and calcium concentrations on their deposition in soft and bone tissues in chicks

Dietary calcium (Ca) is known to affect the digestive availability of phosphorus (P), growth performance and bone mineralisation. Dietary supply of both elements must be sufficient and balanced to ensure their optimal deposition in the skeleton, their main storage pool. The objective of this study was to evaluate the impact of dietary P and Ca supply in chicks on the efficiency of P and Ca deposition in the body and their allocation between the skeleton and soft tissues. Four experimental diets were formulated according to two levels of non-phytic P (NPP ; 3.0 and 4.5 g/kg) and two levels of Ca (6.0 et 10 g/kg) and tested in male ROSS chicks between d10 and d22 of age. At d22, 6 birds per treatment were euthanatized and plucked, and their digestive contents removed. The skeleton was then excised. Each compartment (skeleton vs soft tissues/feathers) was analyzed to determine ash, P and Ca contents. The decrease in dietary NPP reduced P intake and excretion by 29 and 38% respectively ($P<0.001$), body weight (BW) by 10% ($P<0.01$) and body weight gain by 13% ($P<0.01$). Proportions in bone increased from 95 to 97% for Ca ($P<0.05$) and from 60 to 65% for P ($P<0.01$) when increasing dietary NPP. The lower level of NPP decreases also ash, P and Ca deposition in the skeleton (-21, -22 and -24% respectively; $P<0.001$) without affecting soft tissues. The lower level of dietary Ca restored body weight gain ($P=0.029$; +9.2%) and P bone deposition ($P<0.05$; +14%) but reduced bone Ca:P ratio (1.98 vs 1.89). Regression analysis indicated that the drop in dietary Ca optimized total body P deposition in relation to BW in birds fed the low-NPP diet ($Ca \times NPP$, $P=0.033$). Dietary Ca modulates growth performance but also body P deposition and excretion depending on NPP level and must be adjusted according to the production targets.

INTRODUCTION

La maîtrise du phosphore (P) dans les déjections demeure un impératif en élevage avicole. Le CORPEN a publié des valeurs de référence pour les espèces avicoles, réactualisées en 2013 (CORPEN, 2006 ; Aubert et al, 2013). Cependant, la capacité de rétention du P par le poulet de chair est variable en fonction des apports alimentaires. En effet, Narcy et al. (2010) ont montré qu'en conditions non-limitantes de P, l'augmentation de l'apport de calcium (Ca) améliore la rétention de P (en % de l'ingéré). A l'inverse, en conditions sub-limitantes de P, une hausse de la teneur alimentaire de Ca a tendance à détériorer ce critère. Ces observations reflètent d'une part l'impact négatif de Ca sur la disponibilité digestive de P et d'autre part son besoin spécifique pour la minéralisation osseuse. De plus, les performances de croissance et la minéralisation osseuse évoluent de façon différentielle en fonction de l'équilibre d'apports entre P et Ca (Rousseau et al, 2013). La croissance et la minéralisation du squelette peuvent en effet être affectées par les apports alimentaires de P et de Ca sans que les performances de croissance ne soient modifiées. Ces observations suggèrent que les dépôts de tissus mous et de tissu osseux évoluent de façon différentielle et indépendante. Cette étude a ainsi été réalisée afin de quantifier ces dépôts en fonction des apports alimentaires de P et de Ca chez le poulet en croissance et d'évaluer la répartition de P et de Ca entre les différents tissus (tissus mous vs tissu osseux).

1. MATERIELS ET METHODES

Trente poulets mâles (Ross PM3) ont été utilisés dans cette expérimentation, prélevés au sein d'un dispositif au sol comptant 48 parquets. Ils ont reçu un même aliment standard de démarrage entre 0 et 10 jours d'âge, couvrant l'ensemble de leurs besoins nutritionnels (INRA, 1989). De 10 à 21 jours, les poulets ont reçu un des 4 aliments expérimentaux croissance (AC) différant par leur niveau de P non-phytique (PNP) et de Ca (Tableau 1) mais couvrant les besoins nutritionnels pour les autres nutriments. Les régimes à base de maïs et tourteau de soja ont été distribués *ad libitum* sous forme de granulés. Les niveaux de PNP et Ca ont été ajustés au moyen de carbonate de Ca et/ou de phosphate bicalcique. Le régime AC1 était formulé selon les recommandations pour le PNP et le Ca.

Tableau 1. Description des aliments

	Ca (g/kg)	PNP (g/kg)	Ca/PNP
AC1	10	4,5	2,0
AC2	10	3,0	3,3
AC3	6,0	4,5	1,3
AC4	6,0	3,0	2,0

Les poids individuels ont été relevés à 10 et 22 jours d'âge et la consommation estimée à partir des valeurs par parquet.

Au 10^{ème} jour, 6 animaux ont été euthanasiés et plumés, et les contenus digestifs vidés. De la même façon, 6 animaux par traitement ont été prélevés au 22^{ème} jour. L'ensemble du squelette a ensuite été excisé. Les plumes ont directement été broyées dans l'azote liquide. Les tissus mous ont été congelés, broyés grossièrement au hachoir de boucherie puis lyophilisés et broyés finement dans l'azote liquide. Les différents compartiments ont ensuite été séchés et incinérés pour déterminer le contenu en cendres. Un échantillon de cendres de chaque compartiment a été mis en solution à chaud en présence d'acide nitrique et d'eau oxygénée. Les teneurs en P et Ca ont finalement été déterminées par colorimétrie et absorption atomique respectivement.

Une analyse de variance a été réalisée via la procédure GLM de Minitab (version 14, State College, PA) pour tester les effets des régimes de croissance en incluant l'effet de Ca, PNP et leur interaction (Tableau 2). La relation entre les dépôts de P ou Ca au niveau des tissus mous et du squelette et les variables explicatives principales (PNP, Ca, poids vif) ont été étudiées selon un modèle de variance-covariance. L'interaction entre PNP et Ca a également été incluse dans le modèle.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

La baisse de PNP de 4,5 à 3,0 g/kg dans les régimes a réduit de 10% le poids vif ($P < 0,01$) et de 13% le gain de poids ($P < 0,01$) des oiseaux (Tableau 2). De précédents travaux sur le même dispositif avaient montré que ce ralentissement de la croissance était lié à une baisse de la consommation mais également à une dégradation de l'indice de consommation (Rousseau et al, 2013). La déficience en P est reconnue pour entraîner une baisse d'appétit et pour exercer un effet spécifique sur la croissance compte tenu de son implication dans de nombreuses fonctions de l'organisme. Consécutivement, la baisse de PNP a conduit à une réduction de 29 et 38% des quantités de P ingéré et excrété ($P < 0,001$) respectivement sur la période.

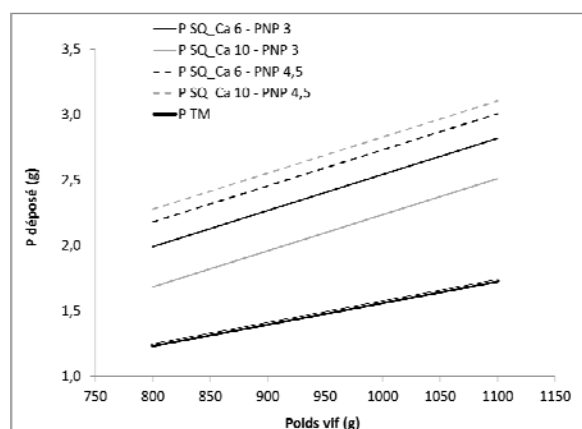
De plus, quel que soit le niveau de PNP, l'augmentation de la teneur de Ca a dégradé le gain de poids de 8,4% ($P < 0,05$). La digestibilité de P est en effet réduite lorsque l'apport de Ca augmente entraînant une déficience en P. Rousseau et al. (2013) avaient montré que l'augmentation de l'apport alimentaire de Ca (de 6 à 10 g/kg) réduisait de 8,6 à 19 points la digestibilité iléale de P. Cet effet serait lié à la formation de complexes insolubles entre le Ca et le phosphate ou les phytates dans le tube digestif (Selle et Ravindran, 2009). Généralement, l'effet négatif de Ca sur la réponse de l'animal est d'autant plus prononcé que le PNP est bas ($Ca \times PNP$, $P < 0,05$). L'absence d'interaction dans notre dispositif

(Ca×PNP, $P>0,05$) s'explique par le nombre limité d'individus par traitement ($n=6$). On observe cependant un poids vif et un gain de poids minimal dans le régime le moins concentré en PNP et le plus concentré en Ca.

Parallèlement, le niveau bas de PNP diminue les dépôts de cendres, de P et de Ca osseux (-21, -22 et -24% respectivement ; $P<0,001$) sans que les tissus mous ne soient affectés. Cette observation confirme le besoin spécifique de P pour les processus de minéralisation du squelette qui requièrent simultanément du P et du Ca pour la constitution de la trame minérale de l'os à base d'hydroxyapatite ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) majoritairement. Le calcium et le P sont fixés simultanément dans l'os; aussi le manque d'un élément est à l'origine de l'excrétion urinaire de l'autre. Précédemment, il a été montré que le poids de cendres du tibia était réduit de 23% lorsque l'apport de PNP chutait de 4,5 à 3,0 g/kg entre 10 et 21 jours d'âge (Rousseau et al, 2013) ce qui reste cohérent avec les résultats de cendres obtenus sur le squelette entier i.e. -21%.

L'absence d'effet sur les dépôts au niveau des tissus mous suggère qu'il existe une priorité vers ces tissus. Ces mécanismes aboutissent finalement à une répartition différente de P et de Ca entre le squelette et les tissus mous. En effet, les proportions de Ca dans l'os augmentent de 95 à 97 % ($P<0,05$) et de 60 à 65 % pour le P ($P<0,01$) lorsque l'apport de PNP alimentaire est augmenté. Notons que l'efficacité de dépôt de P en % de l'ingéré était améliorée pour le régime le moins concentré en PNP ce qui suggère l'activation de mécanismes de régulation.

Figure 1. Relation entre le phosphore (P) déposé dans le squelette (SQ) et les tissus mous (TM) et le poids vif des oiseaux à 22 jours d'âge en fonction des apports alimentaires de phosphore non-phytique (PNP) et de calcium (Ca).



Le faible apport de Ca alimentaire restaure le dépôt osseux de P ($P<0,05$; +14%) et tend à améliorer celui de Ca (Tableau 2; $P=0,10$; +9,7%). En réduisant la digestibilité de P, le Ca limite la disponibilité de P pour la minéralisation du squelette. Cette réduction du dépôt de P dégrade consécutivement celui de Ca, les

deux éléments étant déposés simultanément au niveau de la trame osseuse. Cependant, contrairement à ce qui est communément accepté, le ratio Ca:P du squelette est variable (1,89 vs 1,98 pour un apport de 6,0 et 10 g/kg respectivement). Le calcium est présent dans l'os sous forme de phosphate de Ca (hydroxyapatite) majoritairement mais aussi sous forme de carbonate de Ca. Il est donc possible qu'une part plus importante de Ca soit stockée sous forme de carbonate au niveau osseux chez les animaux recevant les régimes les plus concentrés en Ca.

La modélisation du dépôt de P corporel en fonction du poids vif de l'animal (Figure 1) indique que pour un poids vif donné l'effet négatif de l'apport de Ca sur le P corporel n'est présent qu'à bas PNP (-0,3 g de P déposé quand PNP=3 g/kg). Cet effet plus marqué de l'apport de Ca à bas PNP a précédemment été observé. Létourneau et al. (2010) ont précédemment montré, pour des animaux de 21 jours, que lorsque l'apport de Ca est augmenté de 6 à 10 g/kg avec 3,5 g PNP/kg, la teneur en cendres tibiales est diminuée de 1% tandis que pour un apport de PNP de 1,5 g NPP/kg, elle est diminuée de 11%. Dans les régimes les plus concentrés en PNP, l'augmentation de la teneur de Ca tend à améliorer le dépôt de P corporel (+0,1 g de P déposé quand PNP=4,5 g/kg). Le phosphore et le Ca étant fixés simultanément au niveau de la trame minérale de l'os, tant que le P n'est pas limitant, le maximum de minéralisation osseuse est obtenu avec des apports de Ca plus élevés.

Dans les régimes peu concentrés en PNP, il est donc possible d'améliorer le dépôt de P corporel en diminuant l'apport de Ca. De surcroît, cette stratégie permet de réduire la quantité de P excrété sur la période 10-21j de près de 1,5 g pour un PV moyen de 1 kg à 22j. Sur un bâtiment de 35000 têtes, ceci se traduit par une baisse de 52,5 kg de P excrété.

Les résultats confirment également que le dépôt de P dans les tissus mous n'est lié qu'au poids vif de l'animal et est indépendant du régime reçu. Il est probable que l'organisme oriente en priorité le P vers les fonctions cellulaires essentielles au niveau des différents tissus incluant l'os mais que les apports supplémentaires de P et Ca soient déposés dans l'os pour assurer son rôle de réserve en ces éléments.

CONCLUSION

C'est donc un ensemble de mécanismes relativement complexes qui va guider, d'une part, le dépôt de P et de Ca au niveau corporel et d'autre part, les rejets en ces éléments. Les résultats de l'étude montrent clairement que le dépôt corporel de P est variable et très lié aux apports de P et de Ca alimentaires. Le dépôt de P dans les tissus mous étant fixe, c'est son dépôt au niveau osseux qui va guider le dépôt corporel global. Les résultats indiquent également qu'il est possible d'atténuer les effets délétères d'une baisse de PNP sur le dépôt corporel de P en réduisant parallèlement les apports de Ca.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier l'ensemble des personnes ayant participé aux chantiers de dissection, en particulier Thierry Bordeau, Michel Couty et Bernard Gautier.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Aubert, C., Bouvarel, I., Chevalier, D., Dezat, E., Ponchant, P., Rousset, N., Hassouna, M., Journées de la Recherche Avicole 2013, Tours, France, 77.
2. CORPEN, 2006. Brochure CORPEN – pp55.
3. CORPEN, 2013. Brochure CORPEN – pp63.
4. INRA, 1989. L'alimentation des animaux monogastriques: Porc, lapin, volailles Paris, pp282.
5. Létourneau-Montminy, M. P., Narcy, A., Lescoat, P., Bernier, J.F., Magnin, M., Pomar, C., Nys, Y., Sauvant, D., Jondreville, C., 2010. *Animal 4* : 1844-1853.
6. Narcy, A., Létourneau-Montminy, M., Meme, N., Bouzouagh, E., Rousseau, X., Magnin, M., Nys, Y., 2010. *WPSJ 66* (Suppl), 678.
7. Rousseau, X., Létourneau-Montminy, M. P., Meme, N., Magnin, M., Nys, Y., Narcy, A., 2012. *Poult.Sci.* 91 : 2829-2837.
8. Rousseau, X., Mème, N., Magnin, M., Nys, Y., Narcy, A., Journées de la Recherche Avicole 2013, Tours, France, 218.
9. Selle, P. H., Cowieson, A. J., Ravindran, V., 2009. *Livest. Sci.* 124 : 126-141.

Tableau 2. Effet des apports alimentaires de phosphore non-phytique (PNP) et de calcium (Ca) sur la croissance et la composition en cendres, phosphore (P) et calcium (Ca) des tissus mous (TM) et du squelette (SQ) des poulets à 22 jours d'âge.

	Ca (g/kg)		6				10				Ca		NPP		P-value	
	PNP (g/kg)		3		4,5		3		4,5		6	10	3	4,5	Ca	NPP
PV (g)	1002	± 32,4	1082	± 34,4	936,9	± 44,4	1046	± 27,8	1042	991,7	969,7	1064	NS	0,012		
Gain poids 10-21j (g)	733	30,0	810	21,5	642	32,6	771	26,3	772	707	688	791	0,029	0,001		
cendres TM (g)	17,7	± 1,9	18,7	± 2,8	14,7	± 1,8	19,3	± 0,93	18,2	17,0	16,2	19,0	NS	NS		
cendres SQ (g)	14,9	± 0,5	17,4	± 0,6	12,6	± 1,1	17,5	± 0,89	16,2	15,0	13,7	17,4	NS	<0,001		
P TM (g)	1,64	± 0,1	1,51	± 0,2	1,40	± 0,1	1,58	± 0,1	1,57	1,49	1,52	1,54	NS	NS		
P SQ (g)	2,55	± 0,1	2,96	± 0,1	2,00	± 0,2	2,84	± 0,2	2,75	2,42	2,27	2,90	0,036	<0,001		
P TM (% P total)	39,0	± 0,9	33,6	± 3,1	41,3	± 1,4	36,0	± 1,0	36,3	38,6	40,2	34,8	NS	<0,01		
P SQ (% P total)	61,0	± 0,9	66,5	± 3,1	58,7	± 1,4	64,0	± 1,0	63,7	61,4	59,8	65,2	NS	<0,01		
P ingéré (g)	5,13	± 0,21	6,61	± 0,67	4,43	± 0,31	6,88	± 0,22	5,87	5,66	4,78	6,74	NS	<0,001		
P déposé (% ingéré)	59,0	± 1,11	46,8	± 1,25	49,9	± 2,17	46,5	± 2,63	52,9	48,2	54,4	46,7	NS	<0,001		
P excrété (g)	2,11	± 0,13	3,31	± 0,57	2,21	± 0,15	3,66	± 0,09	2,71	2,93	2,16	3,48	NS	<0,001		
Ca TM (g)	0,20	± 0,04	0,18	± 0,04	0,20	± 0,02	0,17	± 0,01	0,19	0,19	0,20	0,18	NS	NS		
Ca SQ (g)	4,62	± 0,1	5,83	± 0,2	4,01	± 0,3	5,52	± 0,4	5,22	4,76	4,31	5,67	0,105	<0,001		
Ca TM (% Ca total)	4,07	± 0,7	3,08	± 0,6	4,95	± 0,7	3,11	± 0,3	3,58	4,03	4,51	3,10	NS	<0,05		
Ca SQ (% Ca total)	95,9	± 0,7	96,9	± 0,6	95,1	± 0,7	96,9	± 0,3	96,4	96,0	95,5	96,9	NS	<0,05		

PV: poids vif

TM: tissus mous

SQ: squelette