

Phosphore phytique et phytases dans l'alimentation des volailles

Le phosphore minéral ajouté aux aliments composés pour volailles coûte fréquemment de 2 à 2,5 % de la formule totale. Apporté en excès, il peut occasionner divers troubles - dyschondroplasie des poulets, fragilité de coquille des œufs - et contribue à la pollution de l'environnement. Toute possibilité d'utilisation réelle du phosphore contenu dans les graines sous forme phytique mérite donc d'être connue.

Dans les graines des végétaux, le phosphore est présent, pour 45 à 75 %, sous forme d'un mélange de différents sels de l'acide myo-inositol hexaphosphorique, dit acide phytique. Cette forme de phosphore ayant longtemps été considérée comme totalement indisponible pour les volailles, l'habitude a été prise en conséquence de ne considérer comme « utilisable » que 30 % du phosphore total des plantes, ce qui constitue une simplification abusive. On sait en effet aujourd'hui, à la suite de nombreux travaux (Nelson 1980), que plusieurs facteurs modifient la disponibilité réelle du phosphore végétal, à savoir :

- la nature du ou des cation(s) fixé(s) sur l'anion phytate et qui en modifient la solubilité ;

- la présence et l'activité de phytase dans les grains eux-mêmes ou dans d'autres constituants de la ration ;

- les traitements mécaniques, thermiques, fermentaires... appliqués aux matières premières ou à l'aliment composé.

L'objet de cet article est d'évoquer brièvement ces différents points en y ajoutant quelques données sur les méthodes habituellement utilisées pour mesurer la disponibilité du phosphore végétal.

Résumé

L'acide phytique et ses sels sont les phosphoglucides les plus répandus dans les graines. Leur digestibilité dépend à la fois de leur solubilité et de l'activité des phytases présentes, particulièrement élevée pour le blé, le seigle et l'orge. La disponibilité du phosphore de ces trois graines pour la minéralisation osseuse des volailles est toujours supérieure à 50 % alors qu'elle est inférieure à 20 % dans le cas du maïs et du tourteau de soja. La prise en compte de ces valeurs réelles (en substitution de la valeur moyenne de 30 % jadis retenue) permet de réduire considérablement l'incorporation de phosphates minéraux dans les aliments pour volailles et même de la supprimer totalement pour les poules pondeuses. Il est cependant possible que le phosphore phytique ait une efficacité un peu plus faible pour l'accrétion osseuse que pour le gain de poids des animaux.

Des phytases exogènes (fongiques notamment) ajoutées à l'aliment composé, permettent une hydrolyse intestinale des phytates chez le poulet. La fermentation des graines augmente également la disponibilité du phosphore phytique alors que l'effet de la granulation à la vapeur n'est pas encore clairement établi.

1 / Phosphore phytique et phytases

1.1 / Présence de phytates dans les plantes

Dans les plantes, le phosphore est principalement présent au sein de molécules organiques telles que phospholipides, phosphoprotéines et phosphoglucides. Une petite quantité est aussi contenue dans les nucléoprotéines qui peuvent libérer de l'acide phosphorique par hydrolyse.

L'acide phytique ou acide myo-inositol hexaphosphorique est le plus répandu des phosphoglucides. Il renferme six fonctions PO_4 impliquées dans différentes liaisons avec des cations (figure 1). Dans les graines, il est présent sous forme de phytine, complexe peu soluble de sels de Ca^{2+} et de Mg^{2+} , et surtout de phytates mixtes de K^+ , Mg^{2+} et Ca^{2+} ; d'autres cations (Zn^{2+} , Fe^{2+} et protéines) sont également présents.

La stabilité des sels formés avec les cations divalents est dans l'ordre $\text{Cu}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Mn}^{2+} > \text{Fe}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$. Les oligo-éléments d'intérêt nutritionnel sont fixés plus fortement par l'acide phytique que les macro-éléments alcalino-terreux.

Dans les graines, les phytates représentent une réserve de phosphore, de minéraux et d'énergie, utilisée lors de la germination. Les autres parties des plantes (tiges, feuilles) ne

contiennent que des quantités négligeables de phytates. La localisation des phytates dans la graine n'est pas constante : dans le blé ou le seigle, comme dans la plupart des graines de monocotylédones, 80 à 90 % des phytates sont contenus dans les couches externes des graines alors que le germe est la fraction la plus riche du grain de maïs. Dans les graines de dicotylédones, les phytates sont surtout présents dans les globoides et non dans les enveloppes externes (figure 2).

Tableau 1. Disponibilité du phosphore (%) de quelques aliments végétaux pour la minéralisation du tibia chez le poulet (moyennes et extrêmes).

	Hoshii et Yoshida 1977	Hotta et al 1979	Hayes et al 1979	Trotter et Allee 1978	Sauveur 1981 à 83 (non publié)
Céréales					
Blé	62 (30/94)		50 (43/58)	48	59 (37/109) ⁽¹⁾
Orge	72		50		59 (37/100)
Maïs	0 (5/25)	0	12	19	23 (20/26)
Sorgho					
Triticale	16				56
Tourteaux					
Soja	3	2		28	22
Colza	- 12	20			25 (23/30) ⁽²⁾
Coton	10				
Arachide	- 20				
Protéagineux					
Pois					26 (15/45)
Lupin					24
Féverole					23 (18/27)
Divers					
Son de blé	50	62			
Son de riz	12 (2/16)	0			
Levures	65 (48/83)				

(1) voir tableau 2

(2) la valeur est plus élevée (35) dans les tourteaux de colza « double zéro ».

On considérait à tort que 30 % du phosphore végétal était utilisable pour les volailles.

Figure 1. Structure chimique du myo-inositol, de l'acide phytique et des phytates.

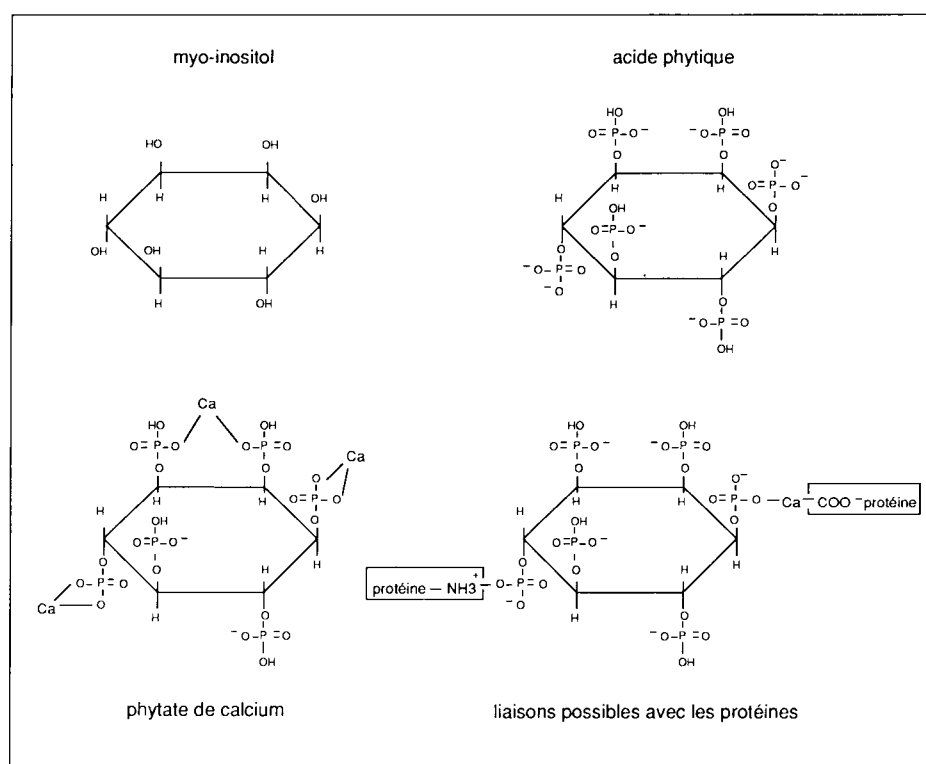
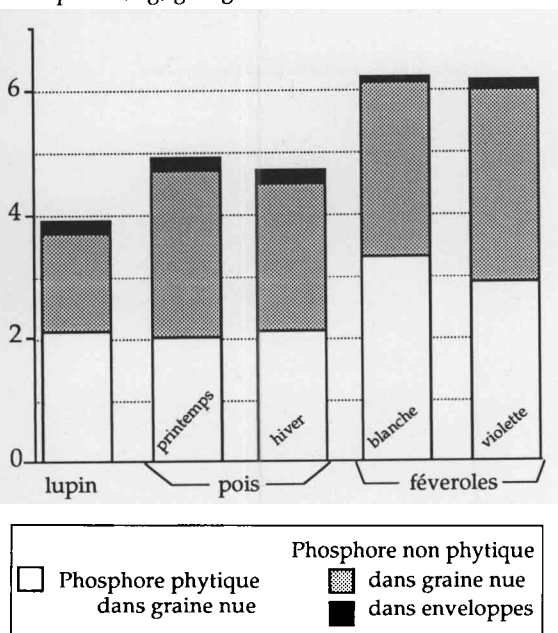


Figure 2. Répartition du phosphore total et phytique dans les graines de légumineuses (d'après Rakotosalama et Sauveur 1982, résultats non publiés)

Phosphore (mg/g de graine)



1.2 / Solubilité des phytates

La solubilité dans l'eau des différents phytates est très variable et influence grandement l'utilisation digestive du phosphore phytique. Le phytate de calcium est réputé le plus insoluble alors que le phytate de sodium est soluble. Parmi les graines de céréales, le seigle est le plus riche en phytate de calcium, le blé en contenant déjà deux fois moins, le riz 8 fois moins et le maïs 16 fois moins. Le phytate de calcium n'est de toute façon prédominant dans aucune graine, les phytates de magnésium et de potassium étant 40 et 200 fois plus répandus. Le problème de l'insolubilité du phytate de calcium contenu dans les graines n'est donc peut être pas aussi important qu'on le dit quelquefois ; la formation de phytate de calcium au sein même du tube digestif des animaux risque de jouer un rôle plus important dans l'indigestibilité de ce produit.

1.3 / Activités phytasiques

Le rôle des différentes phytases présentes dans les graines est d'assurer la libération du phosphore par hydrolyse lors de la germination. L'activité phytasique est de loin plus élevée dans le germe et les enveloppes que dans le cotylédon : le rapport est par exemple de 100, 50 et 10 dans le grain de blé. Il n'existe pas de corrélation claire entre le contenu en phosphore phytique d'une graine et l'activité phytasique détectable dans cette même graine.

La présence et l'activité des phytases varient largement entre espèces végétales d'un même ordre. Dans les graines de céréales l'ordre d'activité est le suivant : seigle et blé > orge et blé noir > avoine > maïs et sorgho, le rapport entre les valeurs extrêmes étant d'au moins 3/1. L'ac-

tivité phytasique est très faible dans les tourteaux (soja, colza, coton). Elle n'a pas été déterminée dans les graines de légumineuses.

Ces phytases sont de type II, leur pH optimal d'action se situant entre 5,2 et 5,6 ; elles sont irréversiblement inhibées lorsque le pH est inférieur à 3. Du fait de cette zone de pH optimal, les phytases exogènes ne sont probablement pas actives dans le gésier du poulet mais Simons (1979) a observé une hydrolyse de phytates dans le jabot (pendant 2 heures après un repas) et dans les caeca.

L'existence d'une phytase intestinale endogène chez les oiseaux a fait l'objet de plusieurs publications contradictoires. Malgré l'identification *in vitro* d'une activité phytasique dans la muqueuse intestinale par certains auteurs, Simons (1979) n'a observé *in vivo* aucune hydrolyse intestinale de phytate, en dépit d'un pH favorable, lorsqu'aucune phytase exogène n'était apportée.

2 / Disponibilité du phosphore des plantes pour les volailles

2.1 / Méthodes de mesure

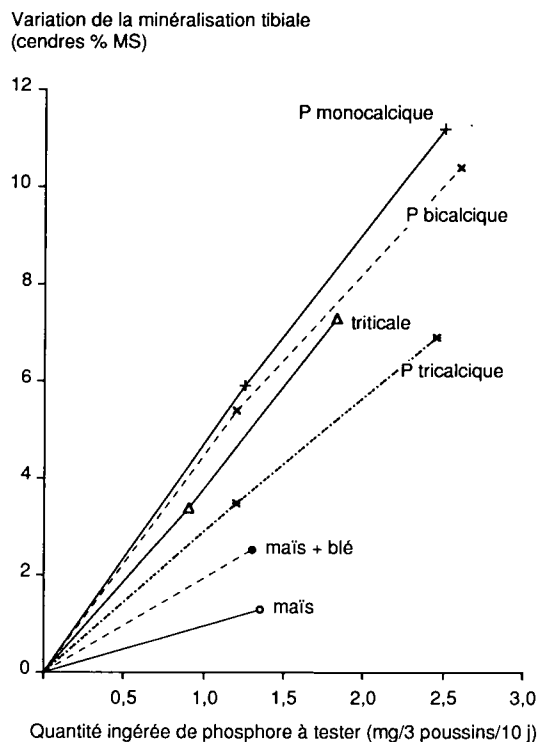
La biodisponibilité du phosphore est le plus souvent estimée par des tests de minéralisation osseuse, fonction pour laquelle le besoin en phosphore est plus élevé que pour le seul gain de poids corporel. Selon Yoshida et Hoshii (1979), une estimation précise de cette disponibilité est obtenue par un test en cinq points incluant :

- un régime de base équilibré mais pauvre en phosphore
- deux régimes correspondant à deux niveaux d'apport d'une source témoin de phosphore (0,15 et 0,30 % de P apporté par du phosphate mono-calcique, mono-hydraté dans nos propres essais)
- deux régimes correspondant à deux niveaux d'apport de la source de phosphore à tester et apportant par exemple 0,07 et 0,14 % de phosphore dans le cas d'une céréale (figure 3).

Il est évidemment impératif que tous les régimes comparés contiennent par ailleurs les mêmes quantités de calcium et de vitamine D et, si possible, de protéines, acides aminés essentiels, énergie, etc... ce qui pose parfois de difficiles problèmes de formulation puisqu'il faut éviter d'introduire des sources parasites de phosphore (Sauveur 1983).

La disponibilité du phosphore est ensuite appréciée par le rapport des coefficients de régression liant les quantités de phosphore ingérées à une réponse quelconque de l'os (cendres totales, cendres en % de la matière sèche délipidée ou résistance à la rupture). Une précision presque aussi grande peut cependant être obtenue lorsque l'on ne considère que les réponses aux doses les plus élevées de phosphore apporté, ce qui peut justifier l'usage d'une procédure simplifiée (Hayes *et al* 1979, Sauveur 1983).

Figure 3. Exemples de tests en cinq-points pour déterminer la disponibilité du phosphore contenu dans des phosphates minéraux ou des graines (d'après Sauveur 1981, résultats non publiés). La quantité de phosphore portée en abscisse est celle ingérée par un groupe de 3 poussins entre les âges de 7 et 17 jours.

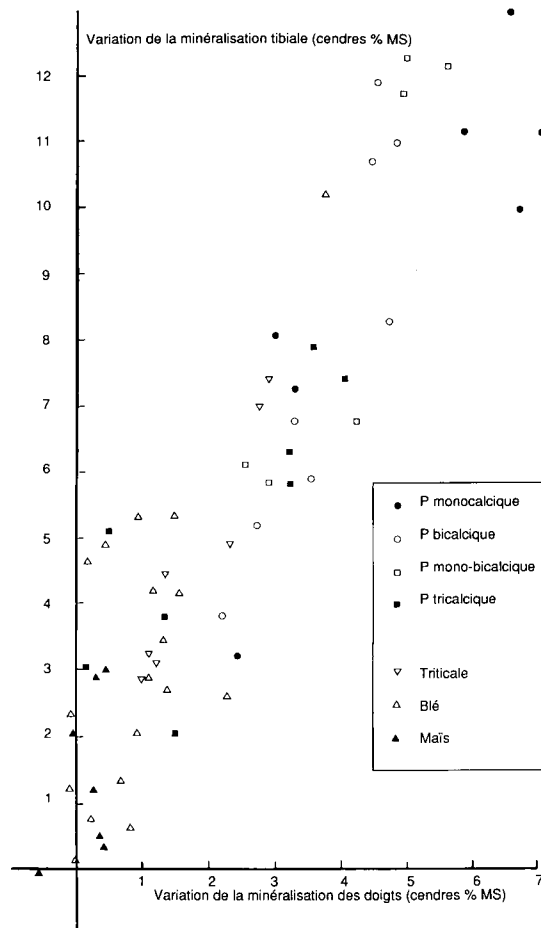


L'utilisation de poussins d'un jour est impossible du fait de la forte mortalité consécutive à l'apport de régimes sans phosphore. Nous utilisons quant à nous les animaux sur la période 7-17 jours, après leur avoir apporté pendant la première semaine un aliment contenant 0,1 % de phosphore minéral. Les tibias ou les doigts peuvent être utilisés pour les mesures de teneurs en cendres (figure 4), les seconds étant d'une obtention plus facile et ne nécessitant pas de délipidation avant calcination (AOAC 1980).

2.2 / Valeurs de disponibilité réelle du phosphore dans différentes graines

Un rapprochement des résultats obtenus par différents auteurs au cours des 10 dernières années permet des conclusions relativement sûres en dépit des différences de méthodologie utilisées (tableau 1). Il est clair en particulier que la disponibilité du phosphore est toujours supérieure à 50 % dans le blé et inférieure à 20 % (souvent nulle !) dans le maïs. Les valeurs établies pour les protéagineux (pois, lupin, féverole) sont invariablement inférieures à 30 %

Figure 4. Variations de teneurs en cendres des doigts et des tibias chez des poulets recevant différentes sources de phosphore (d'après Sauveur 1982, résultats non publiés). La liaison entre les deux mesures apparaît clairement ($r = 0,82$; 12 poussins par point).



(figure 5) bien que la proportion de phosphore phytique soit plus faible dans ces graines que dans les céréales (Sauveur et Rakotosalama 1983, résultats non publiés). La disponibilité du phosphore est également inférieure à 25 % dans les tourteaux de colza et de soja.

La disponibilité du phosphore du blé semble pouvoir varier de 50 à 90 % selon les variétés (Nelson 1980, Sauveur 1983). Lors de mesures systématiques prenant en compte la classification française des blés (tableau 2) la disponibilité la plus élevée a été trouvée dans un blé

Tableau 2. Variabilité de la disponibilité du phosphore du blé (d'après Sauveur 1983).

Type de blé *	(n : nombre d'échantillons testés)	Disponibilité (%)	
		extrêmes	moyenne
irrégulier fourrager blé de printemps blé dur	1 (n = 1)		44
	2 (n = 5)	40 - 71	51
	(n = 10)	37 - 90	52
	(n = 1)		109
	(n = 1)		95
	(n = 1)		100
Moyenne générale		59 ± 5	

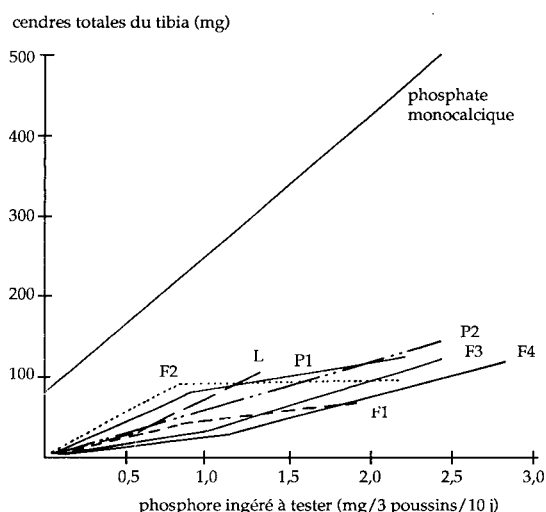
* 1, 2 et « irrégulier » sont les classes de valeur boulangère.

Tableau 3. Teneurs moyennes en phosphore total, phytique et disponible pour les volailles des principales matières alimentaires (d'après Nelson 1980, Griffiths et Thomas 1981, Simons et al 1981, Bagheri et al 1982, Rakotosalama 1983, Sauveur 1983).

	Phosphore total (g/kg)	Phosphore phytique (% P total)	Phosphore disponible	
			g/kg	% total
Céréales				
Avoine	3,4	55	0,8	24
Blé	3,3	60 - 77	1,8	55
Maïs	2,7	67	0,5	18
Orge	3,5	56 - 72	1,7	49
Riz paddy	2,6		1,0	38
Seigle	3,4	65	1,7	50
Sorgho	3,0	60 - 74	0,5	17
Triticale	4,0		2,2	55
Sous produits				
Son de blé	11	85 - 90	6	55
Solubles de maïs	7		6	87
Solubles d'orge	5		4	80
Protéagineux				
Féverole	6,0	45 - 60	1,5	25
Lupin	4,0	50 - 60	0,8	20
Pois	4,2	40 - 50	1,5	35
Farine de luzerne	2,5		2,2	88
Tourteaux				
Colza	10	60 - 73	2,2	22
Coton	10	70	1,0	10
Palmiste	6,0		0,9	15
Soja	6,5	60	1,0	15
Tournesol	9,0		1,5	17
Organismes unicellulaires				
Algues spirulines	10		4	40
Levures	15		10	67
Pruteen ICI	21		14	67
Produits animaux				
Farine de poisson 65 maigre	35		30	86
Farine de poisson 72 grasse	18		15	83
Farine de viande 50 maigre	48		39	81
Farine de viande 55 grasse	37		30	81

La disponibilité du phosphore est en fait très variable selon les graines : moins de 30 % pour le maïs et les protéagineux et plus de 50 % pour le blé et le triticale.

Figure 5. Exemple de détermination de la disponibilité du phosphore phytique dans des graines protéagineuses (d'après Sauveur et Rakotosalama 1982, résultats non publiés).



fourrager et un blé dur, résultat qui peut être rapproché des mesures d'activité phytasique effectuées par Peers (1953) où le blé dur se classait au-dessus du blé tendre.

Plus généralement, il existe une bonne corrélation entre les valeurs de disponibilité ainsi estimées par différents auteurs et les mesures d'activité phytasique puisque l'ordre de disponibilité croissante est le suivant : maïs et sorgho < orge < blé et triticale.

Il est donc totalement injustifié d'appliquer un coefficient constant de 30 % pour estimer la part de phosphore disponible des différentes graines végétales. Les valeurs les plus probables, compte tenu des mesures de plusieurs auteurs, sont rapportées dans le tableau 3.

2.3 / Essais zootechniques prenant en compte la disponibilité vraie du phosphore végétal

La prise en compte des valeurs réelles de disponibilité du phosphore d'origine végétale permet, dans certaines situations, de réduire consi-

Tableau 4. Effets d'une supplémentation en phosphore minéral de régimes à base de maïs ou de triticales sur les performances de poules pondeuses (intensité de ponte et poids de l'œuf) et sur la phosphorémie (d'après Sauveur 1984).

* 32 poules Warren par lot. Résultats enregistrés entre 8 et 12 semaines après le début de l'expérience et corrigés pour les variations inter-groupes observées pendant la période pré-expérimentale.

Régime :				
Teneur en maïs (%)		68	50	19
Teneur en triticales (%)		0	19	50
Phosphore ajouté (%)				
0	intensité de ponte (%)	49 a	82 b	83 b
	poids de l'œuf (g)	57,7 a	61,3 b	61,8 b
	phosphorémie (mg/l)	16 a	21 ab	26 c
0,1	intensité de ponte	79 b	84 b	83 b
	poids de l'œuf	62,9 bc	62,6 bc	63,4 bc
	phosphorémie	23 bc	25 c	29 c
0,2	intensité de ponte	83 b	82 b	82 b
	poids de l'œuf	64,0 c	64,0 c	62,9 bc
	phosphorémie	25 c	28 c	29 c

Tableau 5. Effets d'une supplémentation en phosphore minéral de régimes à base de maïs ou de triticales sur les performances de poulets de chair (mortalité et poids vif à 7 semaines d'âge - 36 poulets par lot) (d'après Sauveur 1983, résultats non publiés).

Régime :				
Teneur en maïs (%)		54	36	18
Teneur en triticales (%)		0	17	35
Phosphore ajouté (%) : 0,1 puis 0,0 *				
Mortalité (%)		75	25	3
Poids vif (g) à 7 semaines		800 a	1170 b	1330 c
Phosphore ajouté : 0,25 puis 0,15				
Mortalité		3	0	3
Poids vif		1770 d	1760 d	1750 d
Phosphore ajouté : 0,40 puis 0,30				
Mortalité		3	3	0
Poids vif		1800 d	1790 d	1740 d

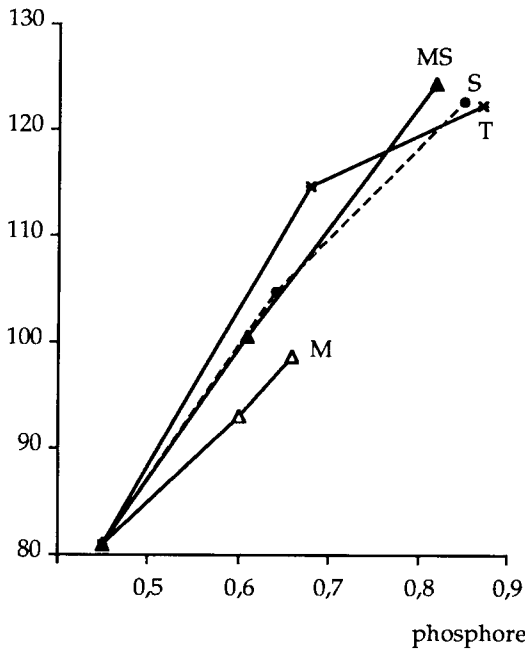
* Quantité de P minéral ajoutée aux régimes « démarrage » (0 - 3 semaines) puis « finition » (4 - 7 semaines).

dérablement, voire de supprimer, l'incorporation de phosphate minéral dans un aliment composé. Ainsi il a été montré qu'un aliment pour poules pondeuses contenant 50 % de triticales permet, sans aucun apport de phosphate minéral, d'obtenir les mêmes performances qu'un aliment à 68 % de maïs et 0,2 % de phosphore minéral ajouté (tableau 4). Des essais antérieurs avaient d'ailleurs établi que l'apport alimentaire de phosphore minéral n'améliorait pas la performance de poules pondeuses si leur régime de base contenait suffisamment de blé (Salmon *et al* 1976, Guenter 1980). On peut également en déduire que la forte quantité de calcium présente dans les aliments pour poules pondeuses n'est pas un obstacle définitif à l'utilisation du phosphore phytique dès lors qu'une activité phytasique est présente. Des essais similaires ont été effectués avec des poulets en croissance, (Sauveur 1978 et 1983, Hayes *et al* 1979) démontrant également que l'incorporation de triticales ou de blé dans un régime permet de réduire grandement l'apport de phos-

phore minéral ; celui-ci ne peut cependant être totalement supprimé dans ce cas du poulet en croissance (tableau 5). La situation est très voisine chez le porc où le triticales, comparé au maïs au sein de régimes pauvres en phosphore minéral, retarde très significativement le développement d'une hypophosphatémie et améliore la minéralisation osseuse (Pointillard *et al* 1987).

Cette remise en cause de la valeur relative des sources végétales de phosphore pourrait conduire à s'interroger sur la validité des déterminations de besoins en phosphore effectuées dans le passé. Les erreurs introduites sont en fait probablement faibles dans la mesure où, par chance, la plupart de ces déterminations ont été effectuées dans le contexte de régimes maïs-tourteau de soja ; ces deux matières premières ne contenant que très peu ou pas de phosphore disponible (et en tous cas moins de 30 % de leur phosphore total), les besoins n'ont pu être que légèrement surestimés. Il n'y a

L'addition d'un aliment riche en phytase permet d'augmenter la disponibilité du phosphore, mais l'efficacité serait plus faible pour l'accrétion osseuse que pour le gain de poids.

gain de poids corporel
(g/poussin/8j)

cendres du tibia (%)

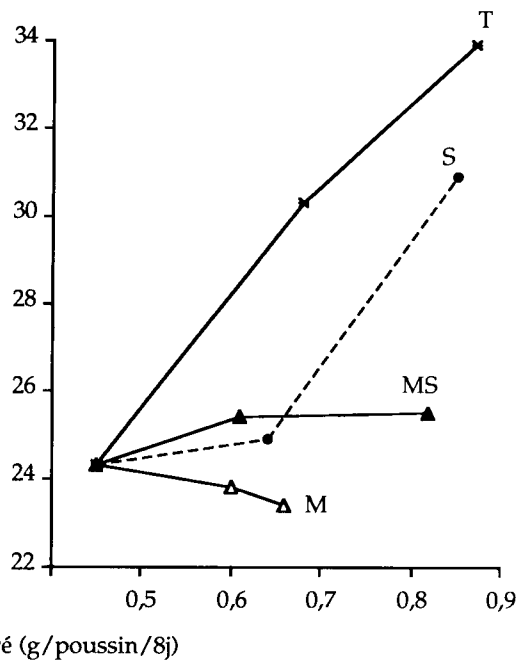
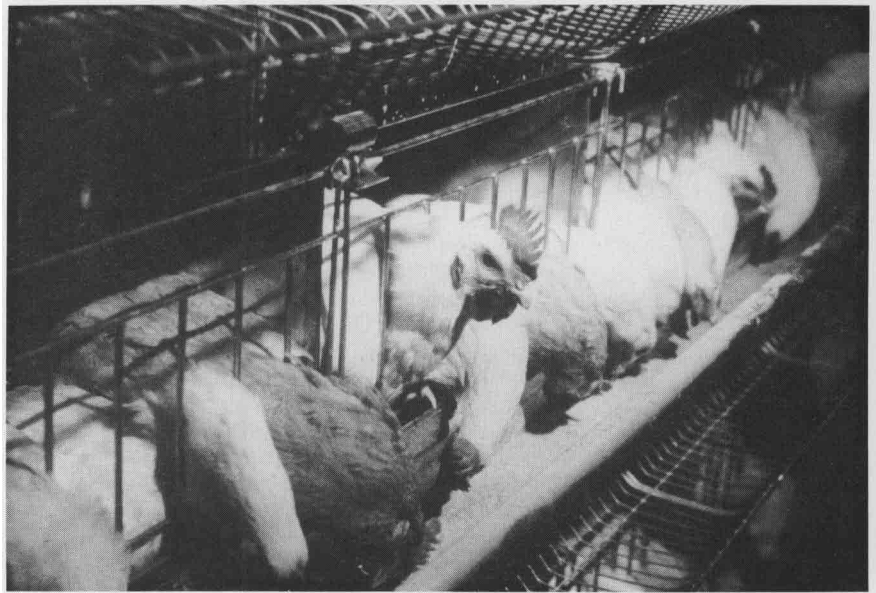


Figure 6. Action comparée d'un ajout de son de blé à un régime à base de maïs sur le gain de poids vif et la minéralisation osseuse (d'après Khalid, Antoine, Picard et Sauveur, 1989 ; résultats non publiés).

Régime :
 M maïs
 MS maïs + son de blé
 S son de blé
 T triticale

donc pas de risque d'aboutir à des carences en continuant à utiliser ces estimations de besoins auxquelles la prise en compte des vraies valeurs de disponibilité du maïs et du soja ne peuvent qu'apporter une marge de sécurité supplémentaire. Seuls d'éventuels excès méritent une attention particulière.

La notion même de disponibilité, variable selon le critère considéré chez l'animal, doit en revanche être considérée. Ainsi, la disponibilité du phosphore du triticale pour le gain de poids du poulet (calculée lors de l'essai rapporté au tableau 5) se situe autour de 70 % alors qu'elle ne dépasse pas 56 % dans les tests de minéralisation osseuse (tableau 1). Une différence similaire est apparue lors d'un essai très récent effectué au laboratoire, au cours duquel la complémentarité d'un régime à base de maïs par du son de blé (riche en phytase) s'est avérée avoir un effet plus fort sur le gain de poids que sur la minéralisation osseuse (figure 6). Il serait donc possible que le phosphore phytique soit légèrement moins efficace pour l'accrétion osseuse que pour d'autres synthèses impliquées dans le gain de poids. Selon Thomas et Tilden (1972), ainsi que Van Den Berg *et al*



L'incorporation de triticale ou de blé dans un régime permet de diminuer l'apport supplémentaire de P minéral, voire de le supprimer pour les poules pondeuses.

Tableau 6. Efficacité du phosphore de quatre céréales pour la croissance corporelle et la minéralisation osseuse du poulet (d'après Hayes *et al* 1979 - 40 poulets par lot).

Chaque régime contient 0,19 % de phosphore apporté par la céréale et 0,06 % apporté par du phosphate de sodium.

Céréale de régime	Maïs	Blé dur	Blé	Orge
Mortalité (%)*	33	10	20	15
Gain de poids (g/13 j)*	107	170	184	175
Indice de consommation	1,43	1,20	1,32	1,26
Résistance à la rupture de l'os *	1,05	2,28	2,90	2,57
Cendres de l'os (%) *	20,1	22,2	23,2	23,3

* les résultats du lot « maïs » sont significativement inférieurs à ceux des 3 autres lots ($P < 0,01$) qui ne diffèrent pas entre eux.

(1972), ces différences pourraient être dues à des produits de l'hydrolyse partielle de l'acide phytique qui exerceraient un effet défavorable sur l'accrétion osseuse (voir la revue de Bagheri et Gueguen 1983). Les essais de Hayes *et al* (1979), utilisant de l'orge et du blé, ne conduisent cependant pas à une conclusion similaire.

3 / Modifications de la disponibilité du phosphore végétal

3.1 / Effets d'une supplémentation phytasique

Une façon simple d'accroître la disponibilité du phosphore phytique contenu dans une graine donnée pourrait être d'introduire dans la ration une autre plante contenant une activité phytasique plus élevée. Des résultats très clairs ont ainsi été récemment obtenus pour Fourdin *et al* (1988) chez le porc, démontrant une augmentation de la disponibilité du phosphore des tourteaux de soja et de colza après adjonction au régime de son de seigle. Chez la poule pondeuse, une conclusion du même ordre peut être tirée des essais de Sauveur (tableau 4) puisque la disponibilité du phosphore des mélanges maïs-triticales augmente plus vite que la proportion de triticales. Il est dès lors possible que les principes d'additivité des nutriments, sous-entendus dans tout programme de formulation alimentaire, ne soient pas respectés dans le cas particulier du phosphore végétal.

Des phytases exogènes pourraient également être ajoutées à l'aliment. L'expérience la plus démonstrative en ce domaine est celle conduite par Nelson *et al* (1971) qui, utilisant une préparation phytasique extraite d'*Aspergillus ficuum*, observèrent une importante hydrolyse des phytates dans le tube digestif des poulets et non dans l'aliment composé avant ingestion. Le traitement fut aussi très efficace sur le gain de poids corporel et la minéralisation osseuse (tableau 7). D'autres préparations enzymatiques issues de levures se révélèrent par la suite beaucoup moins efficaces (Nelson 1980). Selon un travail récent de Han et Willfred (1988), l'activité d'une même phytase varierait d'ailleurs avec le substrat : une même phytase microbienne hydrolyserait ainsi 85 % de phosphore

phytique du tourteau de soja et 67 % seulement de celui du tourteau de coton. Quoi qu'il en soit, il est sûr que des préparations phytasiques seront proposées sur le marché dans un proche avenir ; il sera alors nécessaire d'évaluer exactement leur efficacité en fonction des matières premières à traiter, des techniques de préparation de l'aliment (voir ci-dessous) et des critères de performances retenus.

3.2 / Modifications de l'activité phytasique et ou de la disponibilité du phosphore par des traitements physico-chimiques.

L'activité phytasique des graines s'accroît normalement lors de la **germination**, en corrélation négative avec le contenu en acide phytique résiduel des mêmes graines (Chen et Pan 1977). Il n'est donc pas exclu que la disponibilité du phosphore des céréales puisse varier avec le stade de maturation de la graine lors de la récolte, mais ceci n'a pas été démontré à notre connaissance.

L'activité des phytases est optimale entre 45 et 60°C (Reddy *et al* 1983) en milieu humide. Ainsi, dans l'eau à pH 4,5 et 45°C, l'hydrolyse des phytases d'un blé broyé est totale en une heure (Mellanby 1950 cité par Reddy *et al* 1983). Il n'est donc pas surprenant qu'une activité phytasique importante puisse apparaître dans la lumière intestinale d'un poulet à 41°C alors qu'elle est nulle au cours de la conservation à sec d'une matière première ou d'un aliment composé.

La **fermentation** est également susceptible d'accroître la disponibilité du phosphore des graines pour les volailles ; cela a été montré notamment pour les solubles de distillerie (Singsen *et al* 1972), le tourteau de soja (Sudarmadji et Maruakis 1977) et le millet (Mahajan et Chauhan 1987). Les activités phytasiques des micro-organismes assurant la fermentation et celles éventuelles des graines agissent probablement alors de façon complémentaire, facilitées par un pH légèrement acide et la température de fermentation. Il n'est pas exclu qu'un stockage des graines en condition anaérobie puisse également exercer un effet léger, similaire à celui de la fermentation (Trotter et Allee 1978).

Tableau 7. Effet d'une supplémentation du régime en phytase fongique sur la disponibilité du phosphore phytique pour le poulet (d'après Nelson *et al* 1971).

Régime de base contenant 0,21 % de phosphore phytique et 0,47 % de phosphore total (30 poulets/lot).

Unités de phytase * /kg d'aliment	Gain de poids corporel (3 sem.)	Cendres du tibia (%)	Disponibilité du P phytique (%)
0	138	35,2	
950	168	41,6	43
1900	182	44,2	71
3800	188	45,0	100
Témoin **	183	45,2	

* Phytase d'*aspergillus ficuum*

** Régime de base + 0,25 % de phosphore minéral.

L'action de la **granulation** de l'aliment n'est pas clairement démontrée. Selon Bayley et Thomson (1969), la granulation à la vapeur d'une céréale, avant son mélange avec les autres ingrédients du régime, augmenterait la digestibilité du phosphore chez le porc. Summers *et al* (1968) estiment au contraire que la granulation ne modifie la disponibilité du phosphore végétal pour le poulet que si elle est appliquée à un aliment composé et non à une matière première isolée. Il est donc possible, comme l'ont proposé Corley *et al* (1980), que ces modifications soient davantage dues à des interactions entre les composants du régime qu'à une activation des phytases, celles-ci risquant au contraire d'être partiellement dénaturées par la température élevée. Ce point, particulièrement important pour l'utilisation future de phytases ajoutées, fait actuellement l'objet d'une étude spécifique dans notre laboratoire. Enfin les effets d'autres facteurs tels que la finesse de mouture d'un aliment ou de traitements comme l'extrusion n'ont pas encore, à notre connaissance, été évalués spécifiquement.

Conclusion

Les travaux réalisés depuis dix ans permettent d'affirmer que le phosphore contenu dans certaines graines (blé, orge...) et leurs issues est beaucoup plus disponible pour les volailles qu'on ne l'admettait classiquement. La prise en compte des valeurs réelles permet de substantielles économies et peut modifier le prix d'intérêt de certains aliments. Toute diminution de la quantité de phosphates minéraux ajoutée aux aliments composés est aussi un moyen de réduire à la fois la dépendance économique des pays importateurs et la pollution de l'environnement. Il ne fait aucun doute que des préparations de phytases seront offertes sur le marché dans un proche futur, ce qui ré-orientera notablement la nutrition phosphorée des espèces monogastriques.

Cet article reprend pour l'essentiel le texte d'une conférence prononcée lors du 1^{er} Symposium Franco-Egyptien d'aviculture, Le Caire Mars 1989.

Principales références bibliographiques

(Liste complète disponible auprès de l'auteur)

- A.O.A.C., 1980. Official methods of analysis (13th ed.), p 774.
- BAGHERI S., GUEGUEN L., 1983. Influence des fibres alimentaires sur le métabolisme minéral. Cah. Nutr. Diet., 18, 77-83.
- FOURDIN A., CAMUS P., CAYRON B., COLIN C., POINTEILLARD A., 1988. Amélioration de l'utilisation des phytates chez le Porc par incorporation d'issues à haute activité phytasique : son de seigle, son de blé. J. Rech. Porc Fr. 20, 327-332.
- HAYES S.H., CROMWELL G.M., STAHLY T.S., JOHNSON T.H., 1979. Availability of phosphorus in corn, wheat and barley for the chick. J. anim. sci., 49, 992-999.
- NELSON T.S., 1980. Phosphorus availability in plant origin feedstuffs for poultry and swine. Proc. Florida Nutr. Conf. 59-84.
- NELSON T.S., SHIEH T.R., WODZINSKI R.J., 1971. Effect of supplemental phytase on the utilization of phytate phosphorus by chicks. J. Nutr., 101, 1289.
- POINTEILLARD A., FOURDIN A., FONTAINE N., 1987. Importance of cereal phytase activity for phytate phosphorus utilization by growing pigs fed diets containing triticale or corn. J. Nutr., 117, 907-913.
- SAUVEUR B., 1983. Bio-availability to poultry of plant origin phosphorus. Methodological criticisms and results. Proc. 4th Europ. Symp. Poult. Nutr. (Tours), 103-113.
- SAUVEUR B., 1984. High availability of triticale phosphorus for laying hens. Nutr. Rep. Intern., 29, 911-919.
- SIMONS P.C.M., 1979. Calcium and phosphorus in poultry nutrition. Proc. 2nd Europ. Symp. Poult. Nutr. (Beekbergen), Session C.
- THOMAS W.C., TILDEN M.T., 1972. Inhibition of mineralization by hydrolysates of phytic acid. J. Hopkins Med. J., 131, 133-142.
- YOSHIDA M., HOSCHII H., 1979. Monobasic calcium phosphate as a standard for bio-assay of phosphorus availability. Japan. Poult. Sci., 16, 271-275.

B. SAUVEUR. Phytic phosphorus and phytases in poultry nutrition.

Phytic acid and its salts are the most common phosphoric carbohydrate compounds present in seeds. Their digestibility depends on both their water solubility and activity of phytase enzymes contained in the grain itself. This activity is high in wheat, rye and barley, which explains why phosphorus availability for chicken bone mineralization is above 50 % in these three grains, while it is less than 20 % in corn or soyameal. When these true availability coefficients are used (instead of the former average 30 % figure), inorganic phosphate addition to poultry diets can be greatly decreased or even eliminated (from laying hen diets). However it remains possible that phytic phosphorus is slightly less available for bone accretion than for body weight gain.

Exogenous phytase (mainly from fungus) added to chicken diets, allow intestinal phytate hydrolysis. Grain fermentation also increases phytic phosphorus availability while the exact effect of steam pelleting is not still clearly demonstrated.

B. SAUVEUR, 1989. Phosphore phytique et phytases dans l'alimentation des volailles. *INRA Prod. Anim.*, 2 (5), 343-351.