

Adaptation des apports alimentaires aux variations journalières des besoins en calcium et phosphore de la poule

L'utilisation d'un aliment complet, contenant des minéraux à des taux constants, est mal justifiée pour nourrir une poule pondeuse chez qui la formation de la coquille de l'œuf est avant tout cyclique. Les avantages d'un apport discontinu de calcium ont été mis en évidence depuis longtemps déjà. L'application d'une pratique similaire au phosphore peut également aboutir à une amélioration de production tout en réduisant les apports et donc les rejets.

La formation de la coquille de l'œuf est un phénomène discontinu intervenant en grande partie pendant la période nocturne si la poule est éclairée de façon usuelle pendant 14 à 16 h continues par jour (figure 1). De nombreux travaux ont été consacrés depuis 30 ans aux mécanismes impliqués dans ce processus. On retiendra, parmi leurs principales conclusions (voir Sauveur 1988 pour une synthèse générale) que :

- L'hydratation du CO₂ métabolique nécessaire à la synthèse des ions carbonate de la coquille est à

l'origine d'une acidose métabolique temporaire compensée par voie respiratoire. Les électrolytes du régime qui affectent aussi l'équilibre acido-basique de la poule sont donc susceptibles d'agir sur la formation de la coquille de l'œuf.

- La poule manifeste un appétit spécifique pour le calcium juste avant et pendant la formation de la coquille de l'œuf (figure 1). La présentation d'une source de calcium reconnaissable par l'animal lui permet de satisfaire cet appétit sans l'obliger à ingérer d'autres nutriments.

- La mobilisation du squelette pendant le dépôt de la coquille varie en fonction de cet apport alimentaire de calcium et se traduit par une importante élévation de l'excrétion phosphorée, elle-même impliquée dans la régulation de l'équilibre acido-basique.

Ces différents mécanismes sont donc étroitement inter-dépendants et seront traités comme tels dans le texte qui suit. Le lecteur soucieux de relire des articles de synthèse sur la maîtrise nutritionnelle de la qualité de la coquille pourra consulter, outre l'article de base de Wolford et Tanaka (1970), ceux plus récents de Harms (1981b), Austic et Keshavarz (1984), Washburn (1984), Keshavarz (1985, 1986 et 1989), El Boushy et Raterink (1985), Boorman *et al* (1985), Provimi Technical Service (1990).

Résumé

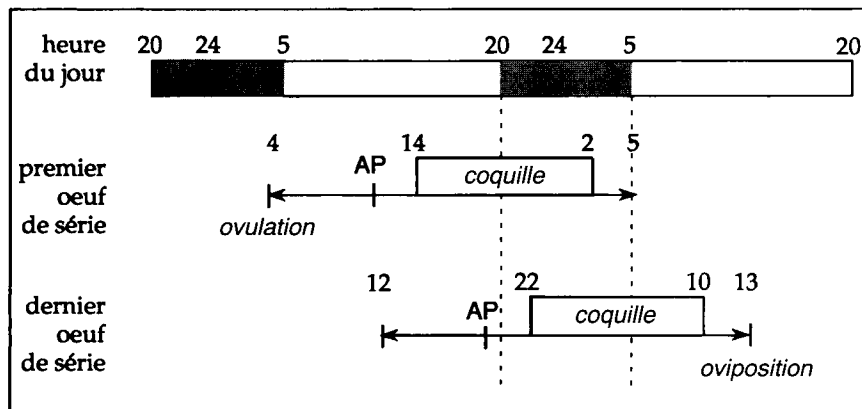
Si on offre à une poule pondeuse une source de calcium alimentaire qu'elle puisse identifier (alimentation calcique séparée), elle consomme ce calcium de façon discontinue en relation avec la formation de la coquille de l'œuf. Cette pratique réduit la mobilisation osseuse et accroît la solidité de la coquille dans la moitié des cas environ. L'effet est particulièrement net lorsque la température ambiante est élevée. Ceci permet également de réduire l'apport alimentaire de phosphore.

Plus généralement, la quantité de coquille déposée sur l'œuf apparaît comme inversement liée à la teneur en phosphore du plasma, à la fois à long terme et de façon instantanée. Il convient donc de limiter la teneur en phosphore assimilable de l'aliment à 0,28 % pour une production de 60 g œuf/jour.

L'apport de phosphore semble également pouvoir être modulé au cours de la journée : il doit alors être aussi faible que possible durant l'après-midi alors que l'apport de calcium doit être le plus élevé.

Une dernière façon de diminuer le besoin en phosphore pourrait être l'utilisation de programmes d'éclairage fractionné aboutissant à une désynchronisation des ovipositions.

Figure 1. Emplacement de la formation de la coquille de l'œuf par rapport à la période nocturne selon la place de l'œuf dans la série. (AP : début de l'appétit spontané pour le calcium).



1 / Apport calcique

1.1 / Effet de l'heure d'ingestion du calcium sur le dépôt de la coquille

Lorsqu'un seul repas d'un aliment complet est donné au cours de la journée, sans apport séparé de calcium, la qualité de la coquille est meilleure si ce repas a lieu l'après-midi plutôt que le matin (Simon 1973, Nys 1979). Les rétentions du calcium et du phosphore sont aussi grandement améliorées par le repas du soir (figure 2).

Lorsque le calcium est séparé de la ration de la base et apporté à certaines heures du jour seulement, un apport d'après-midi permet un meilleur dépôt de coquille que celui obtenu avec un apport du matin (Sauveur et Mongin 1974, Lennards et Roland 1981) et quelquefois même supérieur à celui obtenu avec un apport continu de calcium non différenciable par la poule (Leeson et Summers 1978). Là encore, la part du calcium alimentaire exporté par la coquille est optimisée par l'apport calcique de l'après-midi (Sauveur et Mongin 1974).

On sait par ailleurs que les œufs pondus tôt le matin (en début de série) ont une moins bonne coquille que ceux pondus l'après-midi parce que, dans le dernier cas, la coquille a été formée en partie le matin alors que la poule avait la possibilité de consommer du calcium (Roland *et al* 1977, Volynchok *et al* 1982).

Ces travaux montrent que, pour favoriser la formation de la coquille, il faut offrir à la poule un accès au calcium alimentaire juste avant et pendant la formation de la coquille, c'est-à-dire majoritairement le soir. La consommation calcique du matin joue aussi un rôle non négligeable pour les œufs de fin de série. En revanche, la poule est toujours peu sensible à un faible apport calcique alimentaire en milieu de journée. Ceci permet de choisir les meilleures périodes journalières d'apport calcique à l'échelle d'un troupeau alors même que toutes les positions possibles d'un œuf à l'intérieur d'une série de ponte sont simultanément représentées chez les différentes poules.

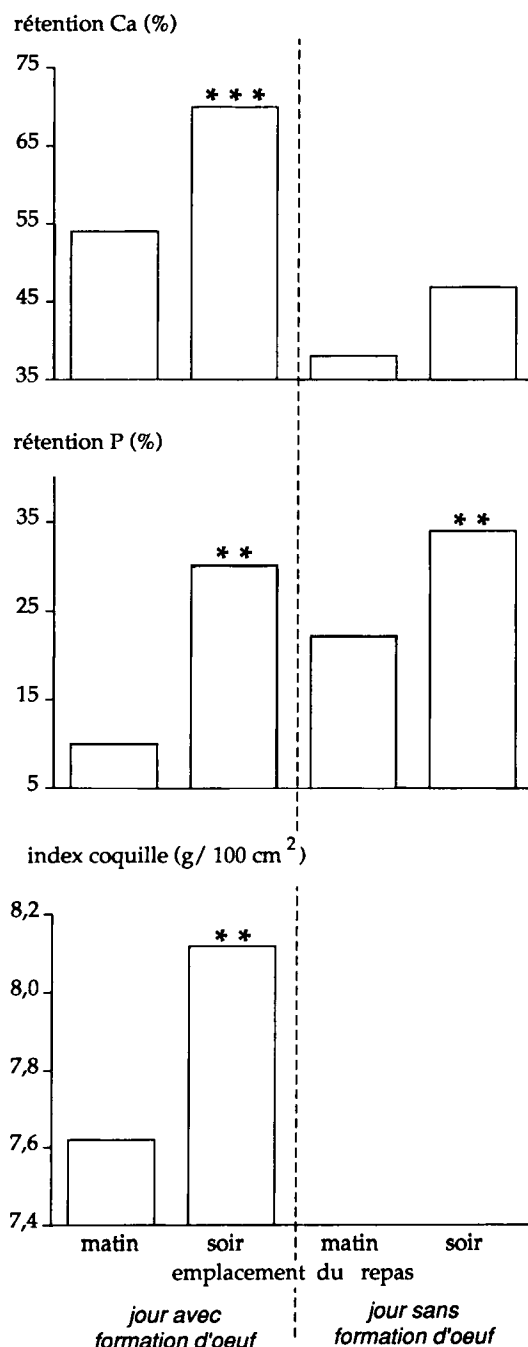
Lorsque l'aliment est distribué sous forme d'un repas complet, la qualité de la coquille de l'œuf est meilleure lorsque la distribution a lieu le soir.

1.2 / Applications à l'alimentation calcique séparée : action sur la qualité de la coquille

La volonté d'offrir à chaque poule la possibilité de consommer du calcium au moment où elle en a besoin pour la formation de la coquille a poussé de très nombreux expérimentateurs à pratiquer ce qui a été appelé par Sauveur et Mongin (1975) "l'alimentation calcique séparée" (A.C.S.), c'est-à-

Figure 2. Effets de l'heure d'un repas complet unique (fixé à 108 g) sur la rétention du calcium et du phosphore et sur l'index de coquille (d'après Nys 1979).

(Signification de la différence par rapport au repas du matin : ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$).



dire un apport de calcium en particules différenciables par la poule du reste de la ration.

Dans une revue bibliographique très détaillée, Guinotte (1991) a répertorié ainsi quelques 300 tests d'A.C.S. effectués entre 1927 et 1990 et rapportés dans 147 publications ! L'analyse qu'il en fait aboutit aux conclusions suivantes concernant la solidité de la coquille de l'œuf (tableau 1) :

des particules est donc globalement environ 2 fois plus important que celui de la nature de la source mais ces deux effets sont cumulatifs.

- L'ampleur de l'effet améliorateur sur la coquille de l'œuf (lorsqu'il existe) est de 2 à 5 % sur les critères de solidité utilisés en laboratoire. Sur le terrain, la réduction du pourcentage d'œufs cassés est de 1 à 3 %.

Tableau 1. Effets de la nature et de la granulométrie de la source de calcium sur la qualité de la coquille d'œuf (fréquence des résultats observés en %) (d'après la revue de Guinotte 1991)

Nature de la source	Effets sur la qualité de la coquille		
	+	=	-
. Coquilles d'huîtres vs calcaire en particules de même granulométrie	6 (20 %)	24 (77 %)	1 (3 %)
. Granulométrie : particules vs farine calcaire coquille	21 (38 %)	34 (62 %)	0
	6 (30 %)	14 (70 %)	0
Total	27 (36 %)	48 (64 %)	0
. Effets combinés coquilles en particules vs calcaire broyé	73 (50 %)	69 (47 %)	5 (3 %)

- La nature de la source calcique (calcaire de carrière vs coquillages marins ou coquilles d'huîtres) est sans effet lorsque cette source est broyée. Avec une présentation en particules de granulométrie égale, les coquilles d'huîtres sont supérieures au calcaire dans 20 % des cas.

- Pour une source de calcium donnée, la taille des particules joue un rôle important : 36 % des essais sont en faveur d'une forme grossière, tandis que 64 % ne montrent pas de différence significative.

- Lorsque les deux effets sont combinés (nature et granulométrie) 50 % des essais montrent une action favorable des sources marines en particules comparées au calcaire finement broyé ; 3 % seulement montrent un effet inverse. L'effet de la taille

Cet effet favorable de l'A.C.S. est accru lorsque la température d'ambiance est élevée (voir revue de Sauveur et Picard 1987). La poule peut en effet réguler alors son ingéré calcique indépendamment de celui de l'énergie et des autres nutriments. Un autre avantage de cette technique réside dans le fait que, apporté séparément du régime de base, le calcium a un certain effet stimulant sur l'appétit (Sauveur et Mongin 1974, Cabrera *et al* 1982). Si ceci peut être un inconvénient dans les conditions usuelles de production, c'est un avantage dès lors que la consommation d'aliment est trop freinée par une élévation de température. L'alimentation calcique séparée permet alors une production supérieure d'œufs ayant une meilleure coquille (Picard *et al* 1986, 1987, Uzu 1988) (tableau 2).

La distribution d'une source de calcium séparément de la ration améliore la solidité de la coquille de l'œuf, surtout en cas de chaleur.

Tableau 2. Effets de l'alimentation calcique séparée (ACS) sur les performances de poules exposées à 20 ou 33° C (Picard *et al* 1986)

	20° C		33° C	
	Témoin	ACS	Témoin	ACS
Ingéré				
Energie (Kcal/j/Q)	320	360 *	220	257 *
Calcium (g/j/Q)	4,4	5,6 *	3,0	4,9 *
Intensité de ponte (%)	82,9	82,4	65,7	76,7 *
Index de coquille (g/100 cm ²)	8,04	8,05	7,48	7,75

* Valeur significativement différente du témoin

2 / Implications du phosphore dans la formation de la coquille et applications

2.1 / Mobilisation du squelette et élévation de la phosphatémie pendant la formation de la coquille ; effets de l'apport calcique

A la suite de Feinberg *et al* (1937), de nombreux auteurs ont observé que la teneur en phosphore minéral du plasma de la poule (désignée ici par "phosphatémie") s'élève pendant la formation de la coquille. L'étude détaillée de Mongin et Sauveur (1979) montre que cette élévation est bien marquée 2 h après le début de la calcification de la coquille et qu'elle cesse rapidement à la fin de celle-ci (22 h après la précédente oviposition) (figure 3). Cette élévation de la phosphatémie est très variable d'une poule à l'autre (Mongin et Sauveur 1979, Boorman *et al* 1985). Elle résulte certainement en grande partie d'une mobilisation du squelette puisqu'elle est accompagnée d'une augmentation de 50 % de la teneur du plasma en hydroxyproline libre (Cabrera-Saadoun *et al* 1987).

L'importance de la mobilisation osseuse ainsi appréciée dépend de la disponibilité du calcium au niveau digestif comme cela a été montré par plusieurs essais. Ainsi Sauveur et Mongin (1983a) trouvent, chez différentes poules, une corrélation de $-0,74$ ($p < 0,001$) entre cette valeur de phosphatémie et la teneur simultanée en calcium soluble du contenu duodénal pendant la formation de la coquille (stades 14 et 16 h après oviposition) (figure 4). Plus directement, un abaissement bru-

L'alimentation calcique séparée réduit l'importance de la mobilisation osseuse, appréciée par l'élévation de la phosphatémie.

Figure 4. Relation entre la teneur en calcium soluble du contenu intestinal et la phosphatémie pendant la formation de la coquille (14 et 16 h après la précédente oviposition) ($r = -0,74$; $p < 0,01$) (d'après Sauveur et Mongin 1983a).

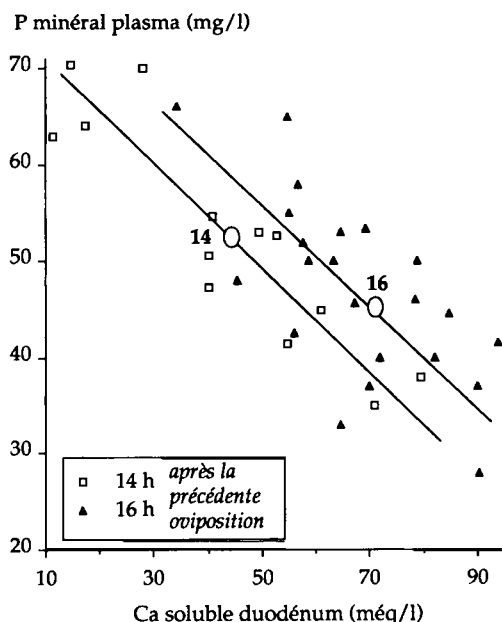
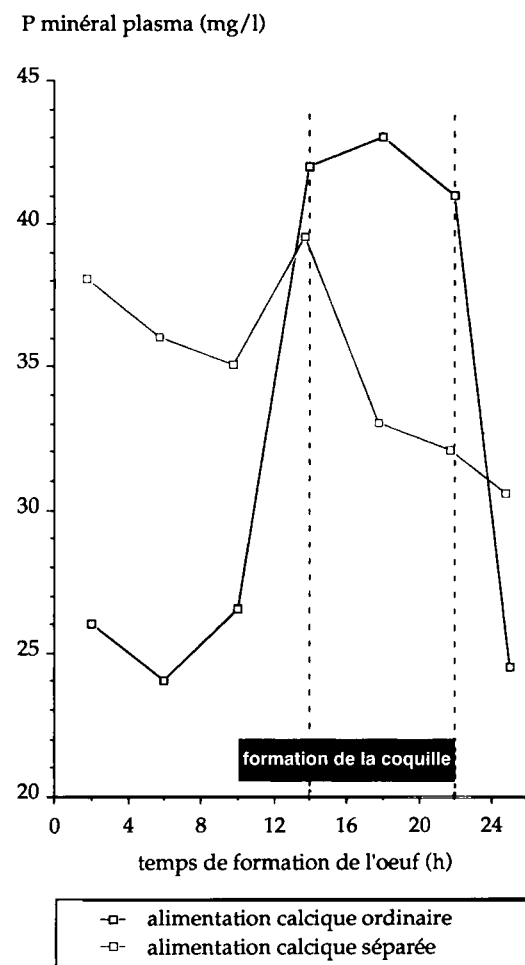


Figure 3. Evolution de la teneur en phosphore inorganique du plasma de la poule en relation avec la formation de la coquille (d'après Mongin et Sauveur 1979 ; redessiné par Boorman *et al* 1985).



tal de la teneur en calcium de l'aliment (de 3 à 1,2 %) après l'oviposition d'un œuf entraîne une élévation 2 fois plus grande de la phosphatémie pendant la formation de la coquille suivante, élévation qui peut être totalement inhibée en intubant la poule avec du chlorure de calcium. Le blocage du calcium intestinal par de l'EDTA a le même effet que la carence calcique (Mongin et Sauveur 1984). Chez des poules privées de calcium alimentaire, et dont le squelette a été préalablement marqué au ^{45}Ca , Farmer *et al* (1986) montrent aussi que l'apport en 5 intubations de 2,5 g de calcium pendant la formation de la coquille réduit de 75 % le prélèvement osseux.

En pratique, l'A.C.S. qui permet un meilleur approvisionnement de l'intestin en calcium pendant la nuit, réduit aussi cette mobilisation osseuse et l'élévation de phosphatémie (Mongin et Sauveur 1979, figure 3). La revue bibliographique de Guinotte (1991) confirme ceci de façon incontestable : dans 82 % des 22 expériences où ceci a été mesuré, l'usage d'une source de calcium en particules accroît la minéralisation du squelette. Il existe même 17 cas où une réponse du squelette est enregistrée, alors qu'aucun effet n'est visible sur la coquille de l'œuf, ce qui montre la grande sensibilité du premier critère (tableau 3). Enfin,

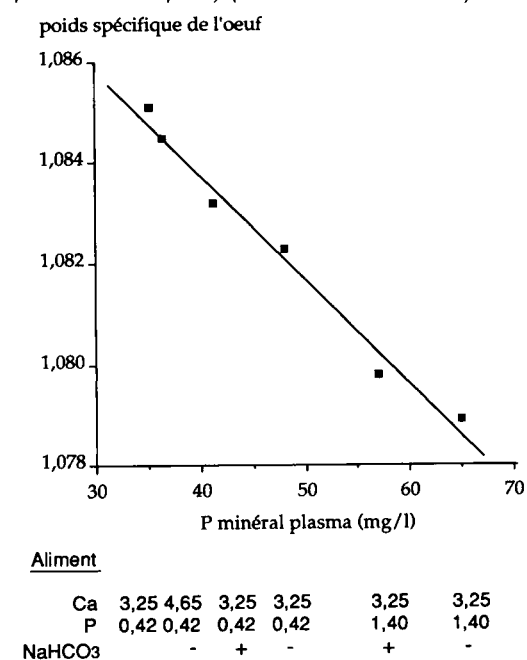
Tableau 3. Effets de la nature et de la granulométrie de la source alimentaire de calcium sur les caractéristiques du squelette de la poule (Guinotte et Nys 1991)

Critères	Effet de la granulométrie		Effet de la nature	
	broyé	particules	calcaire carrière	origine marine
Résistance à la rupture (N)	97	114 *	108	103
Rigidité (N/cm)	930	1099 *	1058	995
Minéralisation (% cendres)	50,1	53,4 *	52,5	51,6

N Newton

* Valeur significativement différente de celle obtenue avec la source de calcium broyée

Figure 5. Relation entre phosphatémie et poids spécifique de l'œuf (estimation indirecte de la quantité de coquille) (Miles et Harms 1982).



l'usage d'aliments différents au cours de la journée (riche en phosphore le matin et en calcium le soir) se traduit de la même façon par une réduction de phosphatémie en phase de formation de coquille et une amélioration de l'ossification en fin d'essai (Sauveur et Clavreul 1984, tableau 5).

2.2 / Relations entre phosphatémie et qualité de la coquille

Il existe chez la poule une relation positive directe entre l'ingéré de phosphore et la phosphatémie de base enregistrée en dehors de la formation de la coquille (Vogt 1982), y compris lorsque cet ingéré est constitué de phosphore phytique accompagné de phytase (Sauveur 1983).

Plusieurs expériences montrent clairement qu'il existe aussi une relation inverse entre cette phosphatémie de base et la qualité de la coquille. Ainsi Miles et Harms (1982) trouvent une corrélation de

- 0,98 entre phosphatémie et poids spécifique de la coquille en faisant varier les teneurs en calcium, phosphore et bicarbonate de sodium du régime (figure 5). Dans une telle situation, l'effet négatif d'une phosphatémie élevée sur la formation de la coquille peut être interprété, au moins partiellement, en supposant qu'elle réduit la sécrétion de parathormone et s'oppose donc à la mobilisation du calcium osseux pendant la formation de la coquille.

Des relations plus immédiates ont aussi été montrées entre phosphatémie instantanée et sécrétion de la coquille. Ainsi Sauveur et Mongin (1983a) trouvent une corrélation de - 0,95 entre la phosphatémie enregistrée au stade 14 h après oviposition et le poids de la coquille des deux œufs précédents. Ils démontrent également que la quantité de coquille déposée sur un œuf donné est liée inversement à l'importance de la mobilisation osseuse simultanée (estimée par l'aire sous la courbe d'évolution de la phosphatémie). Volynchook (1985) enregistre une relation curvilinéaire entre la phosphatémie de fin de nuit et la masse de coquille déposée sur les premiers œufs de série pondus tôt le matin (figure 6). Harms

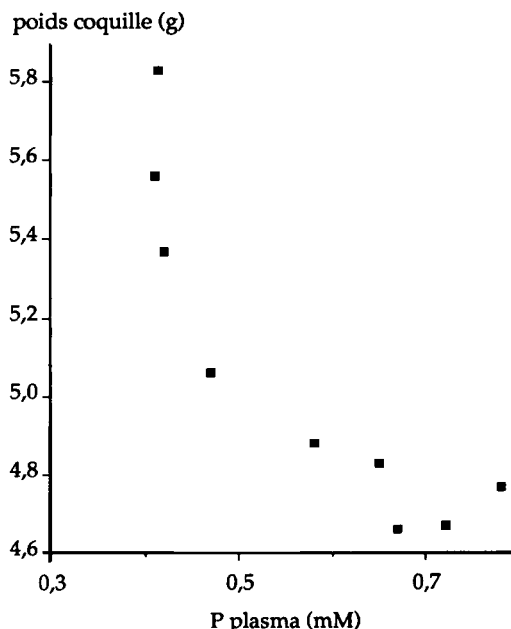


Figure 6. Relation entre la phosphatémie (enregistrée en fin de nuit) et le poids de coquille du premier œuf de série chez différentes poules (Volynchook, in Boorman et al 1985).

(1982) note aussi que la phosphatémie en fin de formation de coquille (stade 22 h) n'est que de 49 mg/l pour les œufs de fin de série pondus l'après-midi contre 59 mg/l pour les œufs du matin dont la coquille est moins solide. Il explique cette relation inverse entre mobilisation osseuse et qualité de la coquille en faisant remarquer que le rapport Ca/P de l'os est voisin de 2 alors qu'il est proche de 7 dans l'aliment. La modification de l'équilibre acido-basique induite par la formation de la coquille risque donc d'être différente selon la part de calcium provenant de l'os. Néanmoins une action directe du phosphore sanguin sur le processus de minéralisation de la coquille in utero ne peut être écarté.

Enfin, Roland (1989) souligne que les effets favorables de faibles apports alimentaires de phosphore sur la coquille ne s'expliquent peut-être pas seulement par des modifications de phosphatémie car certains auteurs ont enregistré des petites réponses sur la coquille sans modification sensible de phosphatémie (Reichmann et Connor 1977, Miles *et al* 1983). Il n'est pas impossible en fait que les différences de méthodologies de mesure utilisées soient suffisantes pour expliquer ces contradictions apparentes car il est rare que les stades du prélèvement de sang soient précisément définis par rapport à l'oviposition.

Quelle que soit la nature exacte des mécanismes impliqués, il semble possible de retenir la conclusion déjà formulée par Sauveur et Mongin (1983a) puis par Farmer *et al* (1986) selon laquelle : plus grande est la dépendance du calcium de l'os, plus faible sera la quantité totale de coquille déposée.

2.3 / Action de différents niveaux constants d'apport alimentaire de phosphore sur la qualité de la coquille de l'œuf

De nombreux auteurs ont démontré qu'un excès de phosphore alimentaire entraîne une diminution de dépôt de la coquille (Ousterhout 1980, Harms 1981, 1982, Hopkins *et al* 1987). L'essai de Miles *et al* (1985) montre que la coquille de l'œuf redevient normale dès le lendemain du jour où cesse l'apport excessif de phosphore.

Cet effet n'est pourtant pas totalement reproductible, si l'on s'en réfère aux revues bibliographiques effectuées par Garlich (1979), Miles (1980), Vogt (1982) ou Roland (1989). Ainsi, Vogt (1982) relève que, sur 42 expériences effectuées de 1961 à 1981, 18 montrent un effet négatif certain de l'augmentation du phosphore alimentaire, 4 un effet incertain et 20 aucun effet. Les proportions sont sensiblement les mêmes dans la revue plus récente de Roland (1989) avec 15 réponses défavorables et 18 réponses nulles sur 38 essais d'augmentation de l'apport de phosphore.

Ces différences de réponse sont probablement dues à des variations aléatoires toujours présentes, mais sans doute aussi en partie à l'hétérogénéité des conditions expérimentales utilisées. Quelques uns des facteurs possibles de variation sont les suivants :

a) Composition des régimes de base utilisés

La présence de blé, d'orge ou de seigle en substitution du maïs augmente la part de phosphore végétal disponible (Sauveur 1989) et peut donc créer des excès d'apport. Néanmoins une forte hétérogénéité des réponses subsiste lorsque l'on élimine les essais ayant fait appel à d'autres matières premières que le maïs et le tourteau de soja.

b) Age et niveau de production des poules

Les besoins en phosphore des poules pondeuses diminuent avec le stade de production (Sell *et al* 1987). Roland (1989) recommande en conséquence des valeurs décroissant de 500 à 300 mg/poule/jour entre 29 et 53 semaines d'âge, valeurs qui restent néanmoins élevées car cet auteur estime que la marge de manœuvre est faible entre l'amélioration éventuelle de la qualité de coquille par réduction de l'apport de phosphore et la dégradation des autres paramètres (intensité de ponte et viabilité).

Les valeurs recommandées par le sous-comité du Groupe 2 (nutrition minérale) de la Fédération Européenne de la W.P.S.A. (1984) sont plus faibles : 0,3 % de phosphore disponible, soit environ 350 mg/poule/jour. Elles ont été récemment (1990) encore révisées à la baisse : 0,27 à 0,29 % pour des productions égales à 50 et 70 g œuf/jour (publication à paraître). Ces nouvelles recommandations prennent en compte le souci de réduire les rejets de phosphore dans l'environnement et paraissent d'autant plus justifiées que les dernières expérimentations européennes (Vogt 1988, 1989 ; communication personnelle) ne montrent pas d'amélioration des performances au-delà de 0,25 % de phosphore disponible.

c) Température ambiante

Le besoin en phosphore pour optimiser le nombre d'œufs produits est accru lorsque la température ambiante est élevée (Garlich *et al* 1978, Charles et Duke 1981). Par ailleurs, Dagher et Farran (1983) font remarquer que l'effet défavorable des niveaux élevés de phosphore sur la coquille est probablement accru par les températures élevées, ce qui rend alors particulièrement difficile le choix d'un niveau optimum d'apport phosphoré. Un apport minimum de 350 mg/poule/jour semble pouvoir être recommandé.

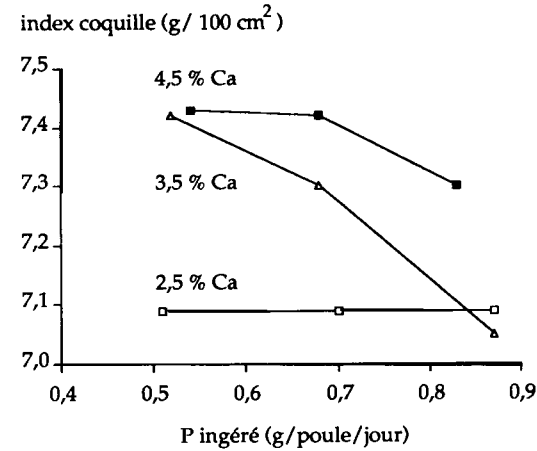
d) Interactions avec les autres nutriments

Les effets défavorables des apports élevés de phosphore sur la coquille peuvent être en partie compensés par l'apport de cations accompagnés d'anions métabolisables. Ainsi, en présence d'un aliment contenant 1,4 % de phosphore, l'apport de 0,2 ou 0,8 % de bicarbonate de sodium accroît le dépôt de coquille (Junqueira *et al* 1984), probablement en corrigeant une tendance à l'acidose. On sait toutefois que les relations entre les électrolytes et le phosphore sont probablement plus complexes que cela (Sauveur et Mongin 1978, Hamilton et Thompson 1980, Boorman *et al* 1985) et impliquent également le niveau d'apport calcique (Austic et Keshavarz 1984). Ainsi l'augmentation de l'apport calcique de 3,5 à 4,5 % permet

L'effet défavorable d'un apport excessif de phosphore sur la qualité de la coquille peut être en partie corrigé en augmentant l'apport de calcium.

de corriger en partie l'effet défavorable sur la coquille d'un accroissement d'ingéré phosphoré de 600 à 800 mg/jour (Ballantyne 1983, figure 7).

Figure 7. Interactions entre apports de calcium et de phosphore sur la qualité de la coquille (Ballantyne 1983).



e) Critère de qualité de coquille utilisé

Hartel (1982) évaluant des apports de phosphore total compris entre 0,4 et 0,8 % observe que les taux les plus élevés ont un effet réducteur limité sur l'épaisseur de coquille mais n'agissent pas sur sa résistance à la rupture, ce qui explique peut-être également certaines des différences observées entre les essais.

2.4 / Variations à court terme de l'apport de phosphore et qualité de la coquille

Dès 1976, Holcombe *et al* observent que des poules ayant le choix entre deux aliments qui contiennent des quantités très différentes de phosphore (0,2 vs 2,4 %) consomment préférentiellement le régime riche le matin et le régime pauvre le soir. Contrairement à ce qui est observé pour le calcium, elles cherchent donc à réduire leur ingéré de phosphore lors de la formation de la coquille. La même année, Roland et Harms (1976) notent qu'une diminution de l'apport phosphoré l'après-midi améliore la qualité de la coquille (tableau 4), résultat confirmé par Choi (1978) et Junqueira *et al* (1984).

L'aboutissement logique de ces observations et de celles relatives à l'apport cyclique de calcium (revoir plus haut) est de nourrir la poule avec deux aliments différents au cours de la journée, l'un riche en phosphore et pauvre en calcium le matin, l'autre pauvre en phosphore et riche en calcium l'après-midi. Ceci a été réalisé par Sauveur et Clavreul (1984) qui ont observé effectivement (tableau 5) une amélioration du poids de la coquille et surtout une réduction spectaculaire de la fréquence des œufs fêlés. Le même traitement appliqué sur le terrain a donné également des résultats positifs mais ceux-ci n'ont pas été retrouvés récemment en station par Protais et Bougon (1991).

Tableau 4. Poids spécifique de l'œuf en fonction de la teneur en phosphore de l'aliment distribué l'après-midi (dans les 3 cas, l'aliment du matin contenait 0,75 % P) (d'après Roland et Harms 1976)

Teneur en phosphore (%) de l'aliment distribué entre 15 et 20 h	Poids spécifique ¹	
	Essai 1	Essai 2
0,75	1,071	1,072
0,33	1,072	1,073
1,50	1,070	1,071

¹ Estimation indirecte de la quantité de coquille déposée

Tableau 5. Effets d'une variation des teneurs en phosphore et en calcium de l'aliment entre le matin et l'après-midi (d'après Sauveur et Clavreul 1984)

	Lot témoin ⁽¹⁾	Lot expérimental ⁽²⁾
Intensité de ponte (%) ⁽³⁾	84,5	83,9
Poids de l'œuf (g) ⁽³⁾	63,9	65,2*
Poids de coquille (g) ⁽³⁾	5,77	6,04*
% œufs cassés ou fêlés ⁽³⁾	16,4	6,2*
Phosphatémie ⁽⁴⁾ (mg/l)	48,7	37,9*
Cendres du fémur ⁽⁵⁾ (g)	2,34	2,61

⁽¹⁾ Aliment de composition constante, contenant 3,8% Ca et 0,30 % Pd

⁽²⁾ Aliment à 1,5 % Ca et 0,63 % Pd, distribué de 8 à 15 h
5,3 % Ca et 0,05 % Pd, distribué de 15 à 21 h et de 7 à 8 h

⁽³⁾ Valeurs moyennes pendant 12 semaines d'essai

⁽⁴⁾ Pendant la formation de la coquille de l'œuf

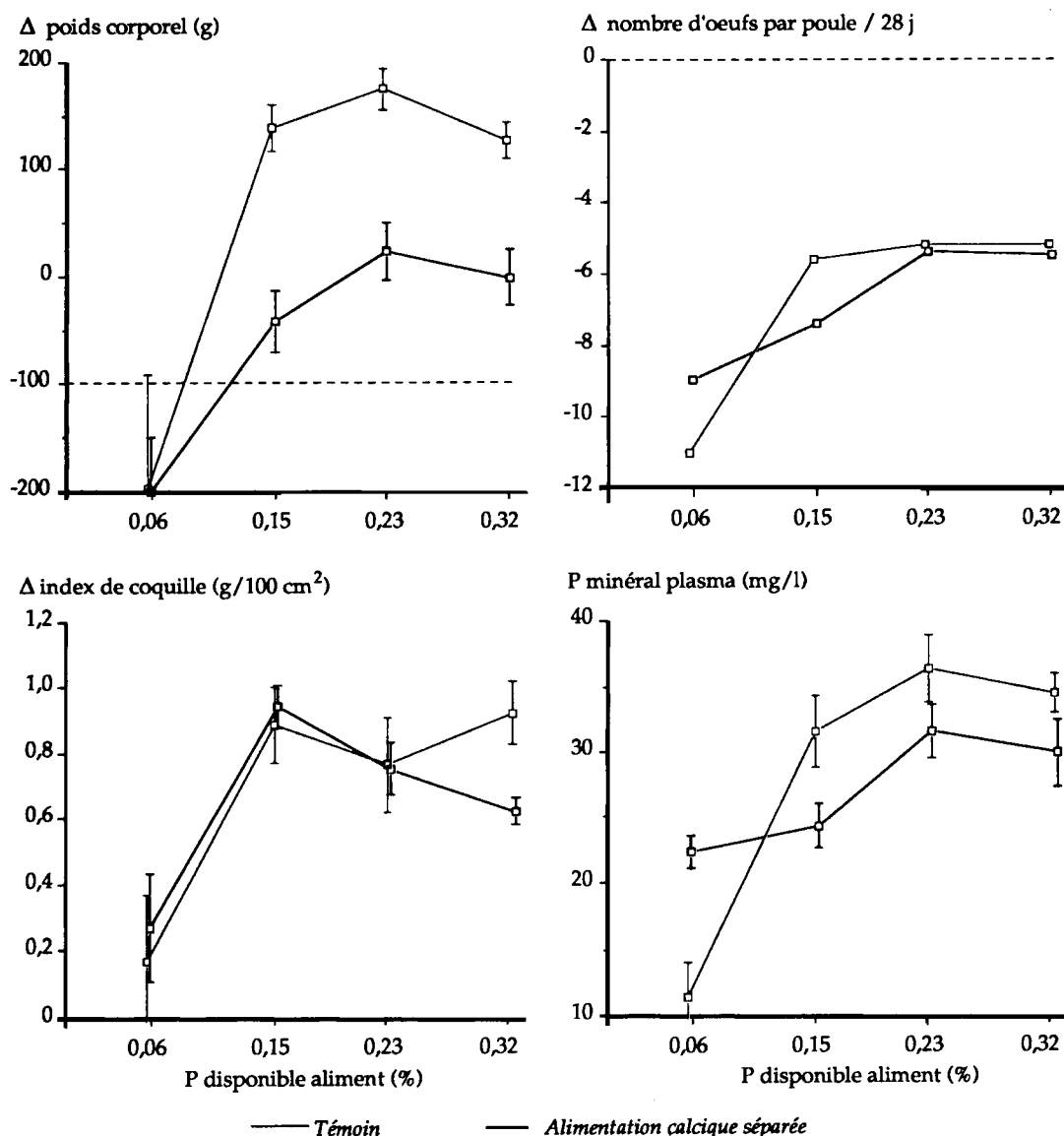
⁽⁵⁾ En fin d'expérience

* Valeur significativement différente de celle du lot témoin

2.5 / Possibilités complémentaires de réduction de l'apport phosphoré

Si, comme cela a été dit plus haut, les techniques d'élevage qui accroissent l'approvisionnement intestinal en calcium pendant la formation de la coquille permettent de réduire la mobilisation osseuse, elles doivent également autoriser une diminution de l'apport phosphoré alimentaire. Deux de ces techniques sont l'alimentation calcique séparée (A.C.S.) et l'utilisation d'éclaircissements fractionnés entraînant une désynchronisation des ovipositions tels que des alternances 3L:3D (Sauveur et Mongin 1983b). Nous avons donc cherché à évaluer leur effet sur le besoin en phosphore.

Figure 8. Alimentation calcique séparée et besoin en phosphore. Variations du poids corporel, de la production d'œufs, de l'index de coquille par rapport à la période pré-expérimentale et phosphatémie basale en fin d'expérience. (Cabrera et Sauveur 1981 ; résultats non publiés) (Moyennes et erreurs-types).



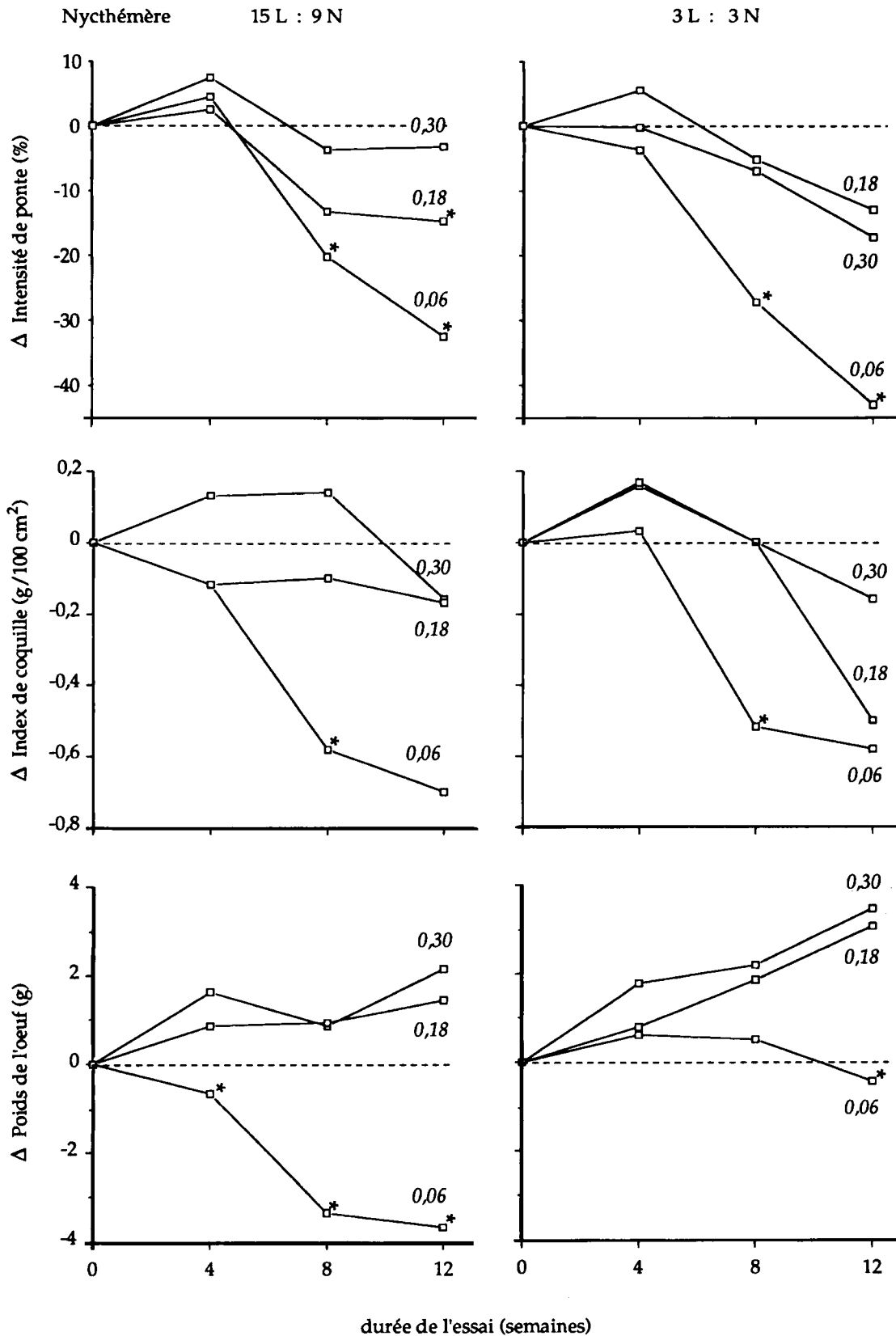
L'apport de phosphore peut être réduit lorsque l'alimentation calcique est séparée.

Dans le premier cas (Cabrera et Sauveur 1981 ; résultats non publiés) 8 traitements ont été mis en place résultant de la combinaison de 4 niveaux alimentaires de phosphore (0,06 - 0,15 - 0,23 et 0,32 % de P disponible) et de deux formes d'apport calcique : apport standard (3,6 % de calcium provenant de calcaire broyé) ou apport séparé sous forme de coquilles marines. Les résultats, résumés par la figure 8, montrent clairement qu'un apport de 0,15 % de Pd est suffisant pour optimiser le poids corporel, la production d'œufs et la phosphatémie basale en présence d'une A.C.S. alors que 0,23 % sont nécessaires chez le lot témoin. L'A.C.S. semble par ailleurs supprimer l'effet défavorable du taux le plus élevé de phosphore sur l'index de coquille. Il existe donc bien une possibilité de réduire l'apport de phosphore en présence

d'A.C.S. comme ceci avait été supposé par Mongin et Sauveur (1979) et Boorman *et al* (1985).

L'effet d'un programme d'éclairage fractionné (3L:3D) a par ailleurs été comparé à celui d'un éclairage standard (15L:9D) en présence de 3 niveaux d'apport phosphoré (0,06 - 0,18 et 0,30 % Pd) (Sauveur et Bouhot 1982 ; résultats non publiés). Un effet d'interaction existe là encore entre les traitements appliqués puisque l'éclairage fractionné parvient à neutraliser la diminution du poids de l'œuf induite par la plus forte déficience en phosphore (figure 9) ; de même, l'apport de 0,18 % Pd est suffisant pour optimiser le taux de ponte en présence de l'éclairage fractionné alors que 0,3 % sont nécessaires en éclairage normal. En revanche la solidité de coquille n'est ici pas améliorée par la réduction de l'apport de phosphore.

Figure 9. Effets de 3 apports alimentaires de phosphore (0,06 - 0,18 et 0,30 % de phosphore disponible) chez des poules soumises à un éclairage normal (15L:9D) ou à un nyctémère court (3L:3D). (Sauveur et Bouchot 1982 ; résultats non publiés). (* valeur significativement différente de celle du lot témoin recevant 0,30 % Pd ; $p < 0,05$).



Conclusion

Pour offrir aux poules pondeuses la possibilité d'exprimer leur potentiel génétique de ponte qui ne cesse de croître, sans que la qualité de la coquille ne se détériore, il est nécessaire de connaître toujours davantage les mécanismes physiologiques de formation de cette coquille et d'adapter les pratiques nutritionnelles. C'est en suivant ce raisonnement que se sont développées les études d'apports discontinus du calcium et du

phosphore qui ont été exposées ici. Ces techniques nécessitent certainement encore des travaux complémentaires de mise au point, mais sont déjà suffisamment élaborées pour présenter un intérêt pratique.

Texte présenté en Mai 1991 à Valencia lors de la 28^{ème} réunion de Branche Espagnole de la WPSA (World Poultry Science Association).

Principales références bibliographiques

- AUSTIC R.E., KESHAVARZ K., 1984. Dietary electrolytes and eggshell quality. Proc. Cornell Nutr. Conf., 63-69.
- BALLANTYNE A., 1983. Improving eggshell quality by means of dietary calcium and phosphorus. Gleadthorpe Exp. Husb. Farm Poult. booklet, 10, 40-44.
- BOORMAN K.N., VOLYNCHOOK J.G., BELYAVIN C.G., 1985. Eggshell formation and quality. In "Recent Adv. Anim. Nutr." (Haresign W. & Cole D.J.A. ed.), Butterworths, London, 261-275.
- EL BOUSHY A.R., RATERIN R., 1985. Eggshell strength: the causes of egg breakage in relation to nutrition, management and environment. Feedstuffs, August 12, 18-20.
- GUINOTTE F., 1991. Alimentation calcique de la poule pondeuse. Effet de la source de calcium sur la sécrétion gastrique, la qualité de la coquille, la croissance et l'ossification. Thèse doctorat, Univ. Paris VI.
- HARMS R.H., 1981a. Effect of certain cation/anion relationships on laying hen performance. Proc. IVth Annual Int. Minerals Conf. (Mundelein, Ill.), IMC Edit, 37-50.
- HOPKINS J.R., BALLANTYNE A.J., JONES J.L.O., 1987. Dietary phosphorus for laying hens. In "Recent Adv. Anim. Nutr." (Haresign W. & Cole D.J.A. ed), Butterworths, London, 39-46.
- KESHAVARZ K., 1986. Calcium-phosphorus interrelationships in the laying hen. Proc. Cornell Nutr. Conf., 85-92.
- KESHAVARZ K., 1989. Calcium nutrition can directly influence shell quality. Feedstuffs, February 20, 23-25.
- MILES R.D., 1980. The role of phosphorus in egg shell quality. Proc. Florida Nutr. Conf., 95-110.
- PICARD M., ANTOINE H., SAUVEUR B., 1986. Influence de l'alimentation calcique séparée sur l'ingéré
- énergétique de la poule pondeuse soumise à un stress thermique. Proc. VIII Europ. Poultry Conf. Paris, WPSA Br. Fr. Edit, 406-411.
- PROVIMI TECHNICAL SERVICE, 1990. Eggshell strength: the causes of egg breakage. Zootechnica Int., 20-25.
- ROLAND D.A., 1989. Phosphorus requirements of commercial leghorns. Proc. Georgia Nutr. Conf., 120-139.
- SAUVEUR B., 1988. Reproduction des volailles et production d'œufs. INRA Edition, Paris, 450 pp.
- SAUVEUR B., 1989. Phosphore phytique et phytases dans l'alimentation des volailles. INRA Prod. Anim., 2, 343-351.
- SAUVEUR B., CLAVREUL P., 1984. Favourable effect on laying performance of varying dietary levels of calcium and phosphorus during the day. Proc. VIIIth World's Poult. Cong. Helsinki, 284-286.
- SAUVEUR B., MONGIN P., 1975. Alimentation calcique séparée des poules pondeuses. 2ème partie : applications. Courrier Avicole, 554, 6-10, et 555, 3-7.
- SAUVEUR B., PICARD M., 1987. Environmental effects on egg quality. In "Egg Quality. Current problems and recent advances" (Wells R.G. & Belyavin C.G. Ed.), Butterworths, London, 219-234.
- VOGT H., 1982. Phosphorus requirements of laying hens. Proc. Vth Annual Int. mineral Conf. (Mundelein, Ill.), IMC Ed., 67-101.
- WASHBURN K.W., 1984. Factors affecting egg shell quality. Proc. XVIIth World Poult. Cong., 43-46.
- WOLFORD J.H., TANAKA K., 1970. Factors influencing egg shell quality. A review. World's Poult. Sci. J., 26, 763-780.

Summary

Adaptation of dietary supplies to the daily variations of calcium and phosphorus requirements in the laying hen.

A laying hen which is offered a recognizable dietary calcium source (separate calcium feeding or SCF), consumes this calcium according to a discontinuous schedule in relationship with eggshell formation. This practice decreased bone mobilization and increased eggshell strength in 50 % of the trials. The effect is increased when environmental temperature is high. SCF also enables decrease in the dietary phosphorus level.

More generally, the amount of deposited eggshell and blood phosphorus level are negatively related

both in the long term and instantaneously. Consequently, the dietary available phosphorus level has to be limited at 0.28 % for an egg mass production equal to 60 g/d.

Daily variations in dietary phosphorus seem to present some possible advantages : it must be as low as possible during the afternoon while calcium providing has to be of the highest level. Intermittent lighting programmes which desynchronize ovulation may also decrease the phosphorus requirements.

SAUVEUR B., 1992. Adaptation des apports alimentaires aux variations journalières des besoins en calcium et phosphore de la poule. INRA Prod. Anim., 5 (1), 19-28.