

## **Effets du calcium, du magnésium et des sels biliaires sur l'énergie métabolisable apparente et la digestibilité des lipides, de l'amidon et des protéines chez le poulet en croissance**

R. KUSSAIBATI, B. LECLERCQ et J. GUILLAUME

*I.N.R.A., Station de Recherches avicoles,  
Centre de Recherches de Tours, Nouzilly, F 37380 Monnaie*

### **Résumé**

Deux expériences sont effectuées sur des poussins en croissance, âgés de trois semaines, en vue d'étudier l'effet du calcium, du magnésium et des sels biliaires sur l'énergie métabolisable apparente (EMA) ainsi que sur l'utilisation digestive apparente de l'amidon, des protéines et des lipides de deux régimes. Ceux-ci sont essentiellement composés de maïs et de tourteau de soja et contiennent 15 p. 100 de graisse animale (R1) ou 15 p. 100 d'huile de maïs (R2). Chaque régime est utilisé tel quel ou bien avec l'une des suppléments suivantes : 5 p. 100 de carbonate de calcium, 2 p. 100 de carbonate de magnésium, 0,25 p. 100 de sels biliaires, un mélange calcium sels biliaires ou magnésium sels biliaires.

Les valeurs d'EMA (corrigées ou non pour le bilan azoté nul) de la fraction non supplémentée des deux régimes ne sont pas influencées par l'addition du calcium en dépit d'une diminution significative ( $p < 0,05$ ) du coefficient d'utilisation digestive des lipides. L'addition des sels biliaires, associés ou non au calcium, améliore les valeurs énergétiques du régime R1 (riche en lipides saturés). L'addition du magnésium ou des sels biliaires augmente significativement ( $p < 0,01$ ) les valeurs énergétiques du régime R1. Aucun effet de supplémentation n'est observé sur les valeurs énergétiques du régime R2 (riche en lipides insaturés).

L'effet du calcium sur la digestibilité apparente des acides gras saturés probablement due à la formation de savons, est restaurée par l'addition de sels biliaires. Ceux-ci favoriseraient l'absorption des acides gras saturés et du calcium.

L'effet du magnésium s'explique en partie par la meilleure absorption des acides gras saturés. Il est probable que le carbonate de magnésium ait un effet antiseptique sur la microflore du tube digestif en réduisant son action néfaste sur les sels biliaires. Il est également probable que la sécrétion biliaire augmente (effet cholagogue) en présence de magnésium. En conséquence, la digestibilité apparente des acides gras saturés serait augmentée.

L'effet des suppléments sur la digestibilité de l'amidon est négligeable quelle que soit la nature des lipides du régime. Enfin, la digestibilité apparente des protéines est toujours plus élevée lorsque le régime est riche en acides gras insaturés.

### **I. Introduction**

L'influence des minéraux, en particulier celle du calcium et du magnésium sur les valeurs d'énergie métabolisable apparente (EMA) des régimes alimentaires destinés

au poulet de chair, a très peu retenu l'attention des expérimentateurs. SIBBALD, SLINGER & ASHTON (1961), trouvent que les valeurs d'EMA diminuent légèrement lorsque la concentration en calcium du régime passe de 1 à 3 p. 100. Les résultats de NELSON & MILES (1972), ne permettent pas de tirer des conclusions très claires, car l'effet du calcium varie en fonction de la concentration de phosphore disponible dans le régime. Par ailleurs, le calcium exerce, chez les animaux monogastriques, dont le poulet, une influence défavorable sur la digestibilité des lipides (FEDDE, WAIBEL & BURGER, 1960 ; THIEULIN, 1968). Cet effet est beaucoup plus prononcé avec les acides gras saturés (YACOWITZ *et al.*, 1967). En outre, tous les facteurs affectant la digestibilité des lipides peuvent influencer, d'une manière indirecte, les valeurs d'EMA des régimes contenant ces derniers (KUSSAIBATI, GUILLAUME & LECLERCQ, 1982 a).

L'effet du magnésium a fait l'objet de beaucoup moins d'études. Selon CHICCO *et al.* (1967), l'addition de magnésium dans le régime du poulet augmente le gain de poids. Cependant, les auteurs n'ont pas signalé si cet effet favorable est attribuable ou non à la meilleure utilisation digestive du régime utilisé. Néanmoins *in vitro*, le magnésium n'accélère pas, contrairement au calcium, l'absorption des lipides (STRAUSS, 1975, 1977 ; SAUNDERS & SILLERY, 1979).

D'autre part, la mauvaise digestibilité des acides gras saturés chez le poussin, est due en grande partie à une insuffisance de sécrétion des sels biliaires (GOMEZ & POLIN, 1974, 1976 ; KUSSAIBATI, GUILLAUME & LECLERCQ, 1982 a, b) aggravée par leur dégradation par la microflore du tube digestif (KUSSAIBATI *et al.*, 1982 c). Ces derniers auteurs démontrent de plus, que les sels biliaires ajoutés dans le régime réduisent sensiblement l'excrétion des savons non seulement chez les poussins axéniques mais aussi chez les holoxéniques. L'absorption du calcium est elle-même améliorée par la présence des sels biliaires (OLIVIER, 1970).

Dans le présent travail, nous étudions l'interaction entre les acides gras, les sels biliaires, le calcium et le magnésium. Nous recherchons en outre les répercussions éventuelles d'une meilleure digestibilité des lipides sur celles des protéines et de l'amidon tout en mesurant les valeurs d'énergie métabolisable apparente.

## II. Matériel et méthodes

### A. Animaux

Quatre vingt seize poussins mâles, d'un croisement commercial (HUBBARD) et âgés d'un jour sont utilisés pour effectuer les deux expériences. Ces animaux sont répartis au hasard en 16 lots (8 lots par expérience) de 6 animaux chacun. Ils sont élevés et nourris individuellement dans des cages placées à l'intérieur de deux cellules conditionnées où la température est maintenue constante pendant chaque période d'une semaine : soit 28 °C pendant la première semaine, 26 °C durant la deuxième et 24 °C durant la troisième. L'éclairage est dispensé 22 heures par jour pendant toute la période de l'expérimentation.

### B. Alimentation

Les animaux sont nourris pendant les deux premières semaines avec un régime commercial. Les régimes expérimentaux sont distribués de façon à effectuer les bilans

énergétiques et digestifs au cours de la troisième semaine. Deux régimes expérimentaux à base de maïs et de soja et contenant 15 p. 100 de graisse animale (R1) ou 15 p. 100 d'huile de maïs (R2) sont employés. Leur composition fait l'objet du tableau 1. Ils sont pourvus en acides aminés indispensables à des taux couvrant largement le besoin des animaux. Ces deux régimes sont isocaloriques.

TABLEAU 1

*Composition des régimes de base.*  
*Composition of basal diets.*

Ingrédients % <i>Ingredients</i>	Régime R1 <i>Diet R1</i>	Régime R2 <i>Diet R2</i>
Maïs - <i>Maize</i> .....	38,7	38,7
Tourteau de soja (47 % N × 6,25) - <i>Soyabean meal</i> ....	42	42
Graisse animale <sup>(1)</sup> - <i>Animal fat</i> .....	15	—
Huile de maïs - <i>Maize oil</i> .....	—	15
Carbonate de calcium - <i>Calcium carbonate</i> .....	1,6	1,6
Phosphate bicalcique - <i>Dicalcium phosphate</i> .....	0,5	0,5
Mélange vitaminique <sup>(2)</sup> - <i>Vitamins</i> .....	0,3	0,3
Sel iodé - <i>Sodium chloride</i> .....	0,2	0,2
Oligo-éléments <sup>(3)</sup> - <i>Trace elements</i> .....	0,2	0,2
DL-méthionine - <i>DL-methionine</i> .....	0,2	0,2
Protéines (N × 6,25) - <i>Crude protein</i> .....	22,3	22,5

(1) Un mélange de 70 p. 100 de suif, 20 p. 100 de saindoux et 10 p. 100 de graisse de volaille, avec un indice d'iode 61 et contenant 9,6 p. 100 d'acides gras libres, 1,7 p. 100 d'insolubles et d'insaponifiables - *A mixture of 700 g beef tallow, 200 g pork fat and 100 g poultry fat/kg with iodine value 61, and containing 96 g free fatty acids and 17 g insolubles and unsaponifiables.*

(2) Quantité supplémentée (mg/kg de régime) - *Amounts supplemented (mg/kg diet)* : retinol : 0,003 ; cholecalciferol : 0,038 ; acétate de  $\alpha$ -tocopheryl (250 g/kg) : 60 ; riboflavine : 4 ; pentothénate de calcium : 8 ; menadione : 5 ; niacine : 25 ; pyridoxine : 1 ; cyanocobalamine (0,1 g/kg) : 80 ; acide folique : 0,2 ; biotine : 0,1 ; chlorure de choline : 500.

(3) Quantité supplémentée (g/kg de régime) - *Amounts supplemented (g/kg diet)* : MnO<sub>2</sub> : 0,07 ; ZnO : 0,05 ; FeSO<sub>4</sub> 7H<sub>2</sub>O : 0,07 ; Cu SO<sub>4</sub> 5H<sub>2</sub>O ; 0,0055 ; COCO<sub>3</sub> : 0,0003 ; KI : 0,00105.

Chaque régime (R1 ou R2) est réparti en quatre sous-régimes au cours de l'expérience 1 :

- 1) T, témoin, non supplémenté.
- 2) Ca, supplémenté de 5 p. 100 de carbonate de calcium (Ca CO<sub>3</sub>), soit 2 p. 100 de calcium.
- 3) SB, supplémenté de 0,25 p. 100 de sels biliaires (cholate et désoxycholate de sodium, SIGMA).
- 4) Ca + SB, cumulant les deux supplémentations précédentes.

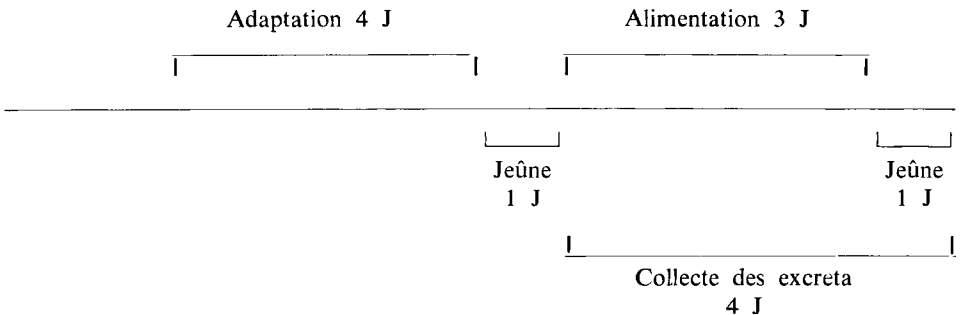
Dans l'expérience 2, les 4 sous-régimes sont maintenus, mais en remplaçant la supplémentation en carbonate de calcium par 2 p. 100 de carbonate de magnésium ((Mg CO<sub>3</sub>)<sub>4</sub> · Mg (OH)<sub>2</sub> · 5H<sub>2</sub>O), soit 0,5 p. 100 de magnésium. La concentration de magnésium (0,5 p. 100) comparée à celle de calcium (2 p. 100) est relativement faible. Nous avons choisi ce taux pour éviter à la fois la diarrhée et la toxicité du magnésium qu'un taux plus élevé provoquerait (le magnésium, au-delà de 0,6 p. 100 dans le régime, devient toxique chez le jeune poussin ; A.R.C., 1975).

Pour chaque sous-régime, on calcule la valeur énergétique et les digestibilités apparentes de la fraction provenant de R1 et de R2, supprimant ainsi l'effet de la dilution entraînée par l'addition de carbonates ou de sels biliaires.

Les régimes alimentaires et l'eau sont distribués *ad libitum* pendant toute la période de l'expérimentation.

### C. Bilan alimentaire

Le bilan alimentaire est effectué avec les régimes expérimentaux pendant une durée de 3 jours précédée par une période de 4 jours d'adaptation aux régimes. L'utilisation de la méthode de collecte totale implique que les animaux soient laissés à jeun pendant 24 heures avant et 24 heures après le bilan pour assurer une élimination totale des excréta d'origine alimentaire.



Des plateaux en matière plastique sont placés sous les cages pour collecter les excréta. Ces derniers sont lyophilisés, broyés et équilibrés avec l'humidité ambiante.

### D. Analyses

L'énergie brute de l'aliment et celle des excréta sont mesurées à l'aide d'une bombe calorimétrique adiabatique (GALLENKAMP).

L'amidon est dosé par la méthode enzymatique basée sur l'hydrolyse de celui-ci par la glucamylase (Amyloglucosidase, MERCK) décrite par l'A.F.N.O.R. (1966). On transforme quantitativement l'amidon en glucose et on dose celui-ci par l'analyseur de glucose BECKMAN BGA2.

Pour doser les protéines, on utilise l'acétate de plomb pour précipiter les protéines non digérées afin d'éliminer l'acide urique des excreta selon la méthode de TERPSTRA & DE HART (1974). Les protéines ingérées et celles précipitées sont dosées par la méthode de KJELDHAL ( $N \times 6,25$ ).

La matière grasse est extraite à froid selon la méthode de FOLCH, LEES & SLOANE-STANLEY (1957). Bien que cette méthode s'avère convenable pour extraire les lipides alimentaires, il n'en est pas de même pour les lipides fécaux. Dans les excreta, une partie des lipides (notamment des acides gras saturés) est combinée au calcium sous forme de savons calciques (YACOWITZ *et al.*, 1967). Nous avons donc déconjugué les lipides du calcium à l'aide de l'acide chlorhydrique 6N selon les techniques de HAKANSON (1974). Les lipides ainsi obtenus, sont purifiés par passage au benzène (DELPECH, GUEZEL & LECLERCQ, 1966). Quant aux acides gras du régime et des excreta, ils sont dosés après méthylation par chromatographie en phase gazeuse avec un détecteur à ionisation de flamme (VARIAN 1400). La technique suivie est celle décrite par LECLERCQ (1973). Avant la méthylation, on ajoute, comme marqueur, une quantité déterminée d'acide margarique (C17 : 0), qui ne se trouve ni dans l'aliment ni dans les excreta. Il est, toutefois, bon de rappeler que tous les aliments, non seulement les conventionnels mais aussi les inhabituels, sont dépourvus de cet acide gras (EDWARDS, 1964). La quantité ajoutée est égale à 15 p. 100 environ de la quantité totale de lipides renfermée dans l'échantillon.

### E. Calculs

Les valeurs de l'énergie métabolisable (EMA) sont calculées par différence entre l'énergie ingérée et l'énergie excrétée. Quant à l'énergie métabolisable apparente corrigée pour le bilan azoté nul (EMA<sub>n</sub>), elle est calculée par la formule proposée par HILL & ANDERSON (1958).

$$EMA_n = EMA - \frac{8,22 (N \text{ ingéré} - N \text{ excrété})}{\text{Quantité d'aliment ingérée}}$$

Les coefficients d'utilisation digestive de l'amidon, des protéines, des lipides et des acides gras sont mesurés par différence entre la quantité ingérée et celle excrétée de chaque nutriment.

La signification des résultats est testée par l'analyse de variance selon SNEDECOR (1956).

## III. Résultats

Les résultats concernant l'énergie métabolisable apparente sont regroupés dans le tableau 2. Les valeurs énergétiques du régime R1 (15 p. 100 de graisse animale), quel que soit le mode d'expression utilisé, sont moins élevées que celles du régime R2

(15 p. 100 d'huile de maïs). En outre, l'addition d'une quantité relativement forte de calcium (5 p. 100 de carbonate de calcium) dans de tels régimes ne modifie pas les valeurs de l'énergie métabolisable. Quant à l'addition des sels biliaires (0,25 p. 100), elle augmente les valeurs énergétiques mais cette augmentation est limitée au régime contenant des lipides saturés. On observe également que l'association de calcium avec des sels biliaires ne modifie en rien les résultats précédents.

TABLEAU 2

Valeurs de l'énergie métabolisable apparente (exprimée en Kcal/kg d'aliment) <sup>(1)</sup>.  
Apparent metabolisable energy values (Kcal/kg diet).

Sous-régimes <sup>(3)</sup> Sub-diets	Essai 1 Experiment 1		Sous-régimes Sub-diets	Essai 2 Experiment 2	
	EMA <sup>(2)</sup>	EMAn		EMA <sup>(2)</sup>	EMAn
Régime R1 (15 % de graisse animale) Diet R1 (15 % animal fat)					
T . . . .	3412 ± 37 B <sup>(4)</sup>	3271 ± 26 B	T . . . . .	3376 ± 60 B	3208 ± 24 B
Ca . . . .	3431 ± 20 B	3238 ± 17 B	Mg . . . .	3629 ± 63 A	3453 ± 43 A
SB . . . .	3565 ± 19 A	3427 ± 15 A	SB . . . .	3624 ± 56 A	3551 ± 56 A
Ca + SB	3589 ± 24 A	3427 ± 26 A	Mg + SB	3604 ± 33 A	3440 ± 16 A
Régime R2 (15 % d'huile de maïs) Diet R2 (15 % maize oil)					
T . . . . .	3676 ± 15	3523 ± 17	T . . . . .	3598 ± 33	3416 ± 41
Ca . . . .	3644 ± 32	3469 ± 31	Mg . . . .	3691 ± 48	3536 ± 50
SB . . . .	3682 ± 31	3524 ± 14	SB . . . .	3671 ± 23	3518 ± 13
Ca + SB	3753 ± 13	3571 ± 16	Mg + SB	3737 ± 41	3552 ± 25

(1) Les valeurs sont les moyennes de 6 répétitions ± l'écart-type de la moyenne, abstraction faite de l'aliment provenant de la supplémentation - Values are means ± SEM for six replicates. The supplemented fraction of the diet is excluded.

(2) EMA = énergie métabolisable apparente - Apparent metabolisable energy. EMAn = énergie métabolisable apparente corrigée pour le bilan azoté - Apparent metabolisable energy corrected for N-balance.

(3) T = régime témoin - Control diet; Ca = régime supplémenté avec 5 p. 100 de carbonate de calcium - Diet supplemented with 5 p. 100 calcium carbonate; SB = régime supplémenté avec 0,25 p. 100 de sels biliaires - Diet supplemented with 0.25 p. 100 bile salts; Mg = régime supplémenté avec 2 p. 100 de carbonate de magnésium - Diet supplemented with 2 p. 100 magnesium carbonate.

(4) Les valeurs non suivies des mêmes lettres sont significativement différentes ( $p < 0,01$ ) - Values followed by different letters are significantly different ( $p < 0.01$ ).

Contrairement à ce que l'on constate avec le calcium, l'addition du magnésium améliore significativement ( $p < 0,01$ ) les valeurs énergétiques du régime R1, riche en lipides saturés. Il n'en est pas de même pour le régime R2 où le calcium et le magné-

sium avec ou sans sels biliaires n'influencent pas les valeurs énergétiques de ce régime riche en lipides insaturés.

L'analyse de variance effectuée sur les valeurs énergétiques ne montre pas de différence significative entre les sous-régimes témoins (T) des expériences 1 et 2. Il en est de même pour les sous-régimes (SB) (tabl. 3). En conséquence, nous avons regroupé les coefficients de digestibilité de l'amidon de ces sous-régimes provenant des deux expériences. La même procédure est appliquée sur les coefficients de digestibilité des protéines.

TALBEAU 3

*Résumé de l'analyse de variance des valeurs de l'énergie métabolisable apparente.*

*Summary of variance analysis of apparent metabolisable energy values.*

Facteurs <i>Factors</i>	EMA <sup>(1)</sup>			EMAn	
	DL	F	Résultats <i>Results</i>	F	Résultats <i>Results</i>
Effet de l'essai (A) ..... <i>Effect of the experiment</i>	1	2,9	NS	3,6	NS
Effet du régime (B) ..... <i>Effect of the diet</i>	1	63,1	p < 0,01	83,6	p < 0,01
Effet des additifs (C) ..... <i>Effect of supplements</i>	3	17,0	p < 0,01	22,4	p < 0,01
(A) × (B) .....	1	6,2	p < 0,05	8,8	p < 0,01
(B) × (C) .....	3	4,5	p < 0,01	7,5	p < 0,01
(A) × (C) .....	3	5,3	p < 0,01	10,2	p < 0,01
(A) × (B) × (C) .....	3	0,5	NS	1,0	NS
Résiduel ..... <i>Residual</i>	80				

(1) Voir tableau 2 - *See table 2.*

Les résultats concernant les coefficients d'utilisation digestive de l'amidon et des protéines sont présentés dans le tableau 4. Ces coefficients sont toujours très élevés quel que soit le type de lipides du régime, saturés ou non, et quelle que soit la nature de la supplémentation : calcium, magnésium ou sels biliaires. Cependant, l'addition de magnésium dans le régime R1 (15 p. 100 de graisse animale) réduit très légèrement mais significativement (p < 0,05) la digestibilité de l'amidon. Quant à l'utilisation digestive des protéines, on constate qu'elle est significativement augmentée par la présence d'une concentration assez élevée de calcium ou de sels biliaires dans le régime R1,

riche en lipides saturés ( $p < 0,05$  et  $p < 0,01$ ). Par contre, l'addition de magnésium, même combinée avec des sels biliaires, n'a aucun effet significatif ( $p > 0,05$ ). De plus, ni le calcium ni le magnésium associés ou non avec des sels biliaires, ne modifient d'une manière significative l'utilisation digestive des protéines du régime R2 riche en lipides insaturés, dont les valeurs sont plus élevées que celles du régime R1. La différence constatée est de l'ordre de 4,5 p. 100.

TABLEAU 4

*Coefficients d'utilisation digestive apparente de l'amidon et des protéines (p. 100).*  
*Apparent digestibility coefficients of starch and protein (p. 100).*

Sous-régimes <sup>(1)</sup> <i>Sub-diets</i>	Amidon <sup>(2)</sup> <i>Starch</i>	Protéines <sup>(3)</sup> <i>Proteins</i>
Régime R1 (15 % de graisse animale) <i>Diet R1 (15 % animal fat)</i>		
T .....	98,1 ± 0,2	80,9 ± 0,8
SB .....	98,3 ± 0,2	83,5 ± 0,5 (**)
Ca .....	98,0 ± 0,2	83,1 ± 0,6 (*)
Ca + SB .....	98,8 ± 0,2	83,9 ± 0,5 (**)
Mg .....	96,9 ± 0,8 (*)	81,3 ± 0,9
Mg + SB .....	97,6 ± 0,6	79,7 ± 1,4
Régime R2 (15 % d'huile de maïs) <i>Diet R2 (15 % maize oil)</i>		
T .....	97,7 ± 0,2	85,2 ± 0,8
SB .....	97,9 ± 0,2	85,2 ± 0,8
Ca .....	98,0 ± 0,2	86,0 ± 1,0
Ca + SB .....	98,3 ± 0,2	87,1 ± 0,4
Mg .....	97,5 ± 0,4	85,6 ± 1,1
Mg + SB .....	98,3 ± 0,2	83,6 ± 0,9

(1) Voir tableau 2 - *See table 2.*

(2, 3) Les valeurs sont les moyennes de 6 répétitions ± l'écart-type de la moyenne - *Values are means ± SEM for six replicates.*

(\*)  $p < 0,05$ ; (\*\*)  $p < 0,01$ .

Le coefficient d'utilisation digestive des lipides (tabl. 5) diminue significativement ( $p < 0,05$ ) lorsqu'on ajoute du calcium dans le régime R1, mais cette diminution s'estompe après addition de sels biliaires. Dans le cas où le régime contient 15 p. 100 d'huile de maïs (R2), la présence du calcium réduit légèrement mais significativement ( $p < 0,05$ ) la digestibilité apparente des lipides. Quant au magnésium, il favorise la digestibilité des lipides du régime R1, mais cet effet n'est pas significatif ( $p > 0,05$ ).



L'addition des sels biliaires améliore significativement la digestibilité des lipides du régime R1 en présence ou en absence du magnésium ajouté. Par contre ce phénomène n'est pas remarqué avec le régime R2.

TABLEAU 5

*Coefficients d'utilisation digestive apparente des lipides* <sup>(1)</sup> (p. 100).

*Apparent digestibility coefficients of lipids* (p. 100).

Sous-régimes <sup>(2)</sup> Sub-diets	Essai 1 Experiment 1	Sous-régimes Sub-diets	Essai 2 Experiment 2
Régime R1 (15 % de graisse animale) Diet R1 (15 % animal fat)			
T .....	76,2 ± 1,7 c <sup>(3)</sup>	T .....	74,8 ± 0,1 b
Ca .....	70,9 ± 1,3 d	Mg .....	79,6 ± 1,4 b
SB .....	86,0 ± 1,0 a	SB .....	85,3 ± 1,9 a
Ca + SB .....	80,9 ± 1,7 b	Mg + SB .....	86,2 ± 1,3 a
Régime R2 (15 % d'huile de maïs) Diet R2 (15 % maize oil)			
T .....	90,3 ± 0,7 a	T .....	90,0 ± 1,1
Ca .....	88,0 ± 0,7 b	Mg .....	91,2 ± 1,0
SB .....	91,5 ± 0,3 a	SB .....	91,6 ± 0,5
Ca + SB .....	91,7 ± 0,6 a	Mg + SB .....	90,0 ± 0,3

} NS

(1) Les valeurs sont les moyennes de 3 répétitions ± l'écart-type de la moyenne - *Values are means ± SEM for 3 replicates.*

(2) Voir tableau 2 - *See table 2.*

(3) Les valeurs non suivies d'une même lettre sont significativement différentes (p < 0,05) - *Values followed by different letters are significantly different (p < 0.05).*

Le dosage des acides gras des régimes et ceux des excréta nous a permis de calculer les coefficients d'utilisation digestive apparente de ces composants lipidiques. Les valeurs obtenues sont rassemblées dans les tableaux 6 et 7. L'addition de calcium dans un régime contenant une quantité relativement importante de graisse animale inhibe la digestibilité apparente de tous les acides gras, quelle que soit leur nature : saturé ou non, à chaîne carbonée longue ou moyenne. En ajoutant des sels biliaires à de tels régimes, on réduit l'effet défavorable du calcium en améliorant la digestibilité apparente de tous les acides gras. Dans le cas du régime R2, riche en acides gras insaturés, l'effet du calcium et celui des sels biliaires sont strictement limités aux acides gras saturés (palmitique et stéarique) dont la digestibilité apparente diminue en présence d'excès de calcium. Il en est autrement pour le magnésium qui améliore la digestibilité des acides gras saturés longs, palmitique et stéarique du régime R1. Il faut noter tout de même, que cette amélioration n'est pas significative. Nous observons même une amélioration légère, de

TABLEAU 6

*Influence du calcium et des sels biliaires sur les coefficients d'utilisation digestive apparente des acides gras* <sup>(1)</sup> (*p.* 100).

*Influence of calcium and bile salts on the apparent digestibility coefficients of fatty acids* (*p.* 100).

Sous-régimes Sub-diets	Acides gras totaux Total fatty acids	C14:0	C16:0	C16:1	C18:0	C18:1	C18:2
Régime R1 (15 % de graisse animale) Diet R1 (15 % animal fat)							
T	84,0 ± 1,0 B <sup>(3)</sup>	89,6 ± 0,6 AB	73,1 ± 1,7 BC	92,6 ± 0,6 A	60,9 ± 2,6 B	93,7 ± 0,3 A	93,7 ± 0,9 A
Ca	79,5 ± 0,9 C	85,2 ± 1,5 B	66,8 ± 1,6 C	89,1 ± 0,8 B	56,0 ± 1,0 B	89,9 ± 1,1 B	89,9 ± 0,5 B
SB	90,3 ± 0,7 A	93,5 ± 0,9 A	83,9 ± 1,3 A	95,3 ± 0,6 A	77,5 ± 2,0 A	95,8 ± 0,2 A	94,4 ± 0,4 A
Ca + SB	87,1 ± 0,8 AB	89,9 ± 1,1 AB	78,7 ± 1,5 AB	92,9 ± 0,3 A	71,6 ± 1,8 A	93,7 ± 0,3 A	92,1 ± 0,7 AB
Régime R2 (15 % d'huile de maïs) Diet R2 (15 % maize oil)							
T	96,6 ± 0,3	—	92,7 ± 0,8 AB	—	93,1 ± 2,4 A	95,2 ± 0,5	98,6 ± 0,1
Ca	95,0 ± 0,6	—	90,4 ± 0,6 B	—	81,4 ± 2,7 B	93,4 ± 0,8	97,3 ± 0,6
SB	97,2 ± 0,2	—	94,9 ± 0,1 A	—	91,4 ± 0,7 A	96,6 ± 0,2	98,2 ± 0,2
Ca + SB	97,2 ± 0,1	—	94,5 ± 0,4 A	—	91,4 ± 0,7 A	96,7 ± 0,2	98,1 ± 0,1

(1) Les valeurs sont les moyennes de 3 répétitions ± l'écart-type de la moyenne - Values are means ± SEM for 3 replicates.

(2) Voir tableau 2 - See table 2.

(3) Les valeurs non suivies d'une même lettre sont significativement différentes ( $p < 0,01$ ) - Values followed by different letters are significantly different ( $p < 0,01$ ).

TABLEAU 7

Influence du magnésium et des sels biliaires sur les coefficients d'utilisation digestive apparente des acides gras (1) (p. 100).  
 Influence of magnesium and bile salts on the apparent digestibility coefficients of fatty acids (p. 100)

Sous-régimes (2) Sub-diets	Acides gras totaux Total fatty acids	C14:0	C16:0	C16:1	C18:0	C18:1	C18:2
Régime R1 (15 % de graisse animale) Diet R1 (15 % animal fat)							
T . . . . .	82,3 ± 1,2 B (3)	87,9 ± 1,2	71,0 ± 1,7 B	91,3 ± 0,2	61,5 ± 1,9 B	91,1 ± 1,1 B	90,3 ± 0,5
Mg . . . . .	86,3 ± 1,1 AB	89,6 ± 1,1	76,9 ± 2,2 AB	92,9 ± 0,6	70,7 ± 2,6 AB	93,1 ± 0,4 AB	93,3 ± 0,3
SB . . . . .	90,4 ± 1,5 A	93,1 ± 0,9	83,8 ± 2,1 A	94,6 ± 1,0	78,1 ± 3,1 A	95,9 ± 0,9 A	95,4 ± 1,5
Mg + SB . . . . .	92,1 ± 1,1 A	92,3 ± 1,0	87,5 ± 2,1 A	94,1 ± 0,6	84,7 ± 3,2 A	95,5 ± 0,3 A	93,4 ± 1,5
Régime R2 (15 % d'huile de maïs) Diet R2 (15 % maize oil)							
T . . . . .	96,3 ± 0,6	—	94,1 ± 0,8	—	86,9 ± 4,0	96,6 ± 0,5	98,0 ± 0,5
Mg . . . . .	96,8 ± 0,4	—	93,8 ± 0,9	—	85,6 ± 2,5	96,1 ± 0,5	98,1 ± 0,3
SB . . . . .	96,3 ± 0,5	—	93,0 ± 1,9	—	86,8 ± 0,4	95,8 ± 0,4	97,7 ± 0,2
Mg + SB . . . . .	96,7 ± 0,3	—	94,0 ± 0,5	—	87,7 ± 0,6	96,4 ± 0,3	97,8 ± 0,5

(1) Les valeurs sont les moyennes de 3 répétitions ± l'écart-type de la moyenne - Values are means ± SEM for 3 replicates.

(2) Voir tableau 2 - See table 2.

(3) Les valeurs non suivies d'une même lettre sont significativement différentes (p < 0,01) - Values followed by different letters are significantly different (p < 0,01).

la digestibilité apparente de l'acide oléique. En outre, la présence de sels biliaires accentue l'effet bénéfique du magnésium qui devient significatif ( $p < 0,01$ ). Enfin, l'addition de magnésium et (ou) de sels biliaires dans le régime R2 ne modifie pas la digestibilité apparente des acides gras, saturés ou non.

#### IV. Discussion

Les présents résultats confirment que les lipides saturés sont toujours moins bien digérés que les lipides insaturés chez le poussin en croissance (MARCH & BIELY, 1957 ; RENNER & HILL, 1961). Nous vérifions une fois de plus que la sécrétion insuffisante des sels biliaires chez le jeune poulet (KUSSAIBATI, GUILLAUME & LECLERCQ, 1982 a) et la dégradation de ceux-ci par la microflore du tube digestif (KUSSAIBATI *et al.*, 1982 c) seraient compensées par l'addition de sels biliaires dans les régimes riches en lipides saturés.

L'effet d'un excès de calcium alimentaire n'est pas décelable lorsqu'on mesure la valeur énergétique du régime riche en acides gras saturés. Néanmoins, la mesure de la digestibilité apparente des acides gras, en particulier des acides palmitique et stéarique, révèle un effet néfaste et significatif du calcium. L'augmentation parallèle de la digestibilité apparente des protéines, compenserait la baisse de celle des lipides, ce qui expliquerait que la valeur énergétique du régime n'est pas modifiée. La mauvaise digestibilité des acides gras saturés, probablement due à la formation de savons avec le calcium (AMBER, MORSHOUSE & DEUEL, 1949 ; YACOWITZ *et al.*, 1967) est restaurée par l'addition de sels biliaires. Ceux-ci favoriseraient l'absorption des acides gras saturés (GOMEZ & POLIN, 1974, 1976 ; KUSSAIBATI, GUILLAUME & LECLERCQ, 1982 a, b) et du calcium (OLIVIER, 1970) par un mécanisme commun.

Nous montrons par ailleurs que l'addition de magnésium, sous forme de carbonate, améliore la valeur d'énergie métabolisable d'un régime riche en lipides saturés. Cette amélioration s'explique en partie par la meilleure absorption des acides gras saturés longs, palmitique et stéarique. On peut alors invoquer un effet antiseptique du carbonate de magnésium sur la microflore du tube digestif en réduisant leur action néfaste sur les sels biliaires. Il y aurait lieu de vérifier cette hypothèse et, de préciser l'influence de la concentration du magnésium dans le régime alimentaire. Il est aussi possible que le carbonate de magnésium ait un effet identique à celui du sulfate de magnésium (effet cholagogue) qui augmente la sécrétion biliaire chez l'homme (PLESSIER, 1960).

Enfin, il faut signaler l'effet bénéfique des lipides insaturés (huile de maïs) sur la digestibilité des protéines. La valeur énergétique du régime R2 (lipides insaturés) supérieure à celle du régime R1 (lipides saturés) s'expliquerait non seulement par la meilleure digestibilité de la matière grasse mais aussi par celle des protéines. Ce phénomène expliquerait l'effet « extra-calorique » des matières grasses signalé par plusieurs auteurs montrant que l'addition de celles-ci aux régimes pour poulet entraîne une élévation de la valeur énergétique souvent supérieure à l'énergie brute de la matière grasse elle-même (MATEOS & SELL, 1980, 1981 ; LESSIRE, LECLERCQ & CONAN, 1982). En revanche, nous ne trouvons pas d'effet bénéfique des lipides insaturés sur la digestibilité de l'amidon qui est toujours élevée, quelle que soit la nature des lipides ajoutés aux régimes.

*Accepté pour publication en février 1983.*

### Summary

#### *Effects of calcium, magnesium and bile salts on apparent metabolisable energy and digestibility of lipids, starch and proteins in growing chicks*

Two experiments were made in 3 week-old chickens of a commercial breed to study the effects of either calcium or magnesium alone or in association with bile salts on apparent metabolisable energy values (AME) and apparent digestibility (AD) of starch, proteins and lipids of two diets. These diets were mainly composed of ground maize and soyabean meal and contained 150 g/kg of either animal fat (R1) or maize oil (R2). They were supplemented with either 50 g/kg of calcium carbonate, 20 g/kg of magnesium carbonate, 2.5 g/kg of bile salts, or with a mixture of either calcium carbonate and bile salts or magnesium carbonate and bile salts.

Results showed that the AME values (with or without correction for N-balance) of the non supplemented fractions were not affected by the addition of calcium although fat AD was significantly lower in both diets ( $p < 0.05$ ). However, the addition of bile salts, with or without calcium, significantly increased the AME values of diet R1 only. On the other hand, the energy values of diet R1 were significantly higher ( $p < 0.01$ ) when magnesium and/or bile salts were added. Neither calcium nor magnesium with or without bile salts, affected the AME values of diet R2.

The effect of calcium on fat AD, especially that of saturated fatty acids, was due to the formation of insoluble calcium soaps. Addition of bile salts reduced this reaction by increasing the solubilization of fatty acids in the intestinal pool and by accelerating the absorption of calcium. However, the improvement in protein AD compensated the deleterious effect of calcium on the AME values.

The effect of magnesium was partly explained by the improved digestibility of saturated fatty acids (palmitic and stearic). Magnesium carbonate may exert an antiseptic action on the gut microflora by reducing its harmful effect on bile salt metabolism. It would also be possible that the presence of magnesium brought about an increase in bile secretion. Thus, the availability of bile salts might be increased and consequently the AD of saturated fatty acids would be improved.

The effects of these supplements on starch AD was negligible, irrespective of the type of dietary lipids but protein AD was always higher when the diet was rich in unsaturated lipids.

### Références bibliographiques

- A.F.N.O.R., 1966. Dosage de l'amidon. Produit de l'Agriculture, amidons et féculés. V03-606, 1-6.
- A.R.C., 1975. The nutrient requirements of farm livestock, N° 1, Poultry Technical Reviews and Summaries. *Agricultural Research Council*, London, 65-66.
- AMBER L.S.C., MOREHOUSE M.G., DEUEL H.J., 1949. The effects of the level of dietary calcium on the digestibility of fatty acids, simple triglycerides, and some natural and hydrogenated fats. *J. Nutr.*, **37**, 237-250.
- CHICCO C.F., AMMERMAN C.B., VAN WALLEGHEM P.A., WALDROUP P.W., MARS R.H., 1967. Effects of varying dietary ratios of magnesium, calcium and phosphorus in growing chicks. *Poultry Sci.*, **46**, 368-373.
- DELPECH P., GUEZEL P., LECLERCQ B., 1966. Méthode d'extraction des lipides en continu et à chaud par le mélange azéotrope : benzène - éthanol - eau. *Rev. Fr. Corps Gras*, **10**, 33-47.
- EDWARDS H.M., 1964. Fatty acid composition of feedingstuffs. *Georgia Agric. Exp. Stn. Tech. Bull.*, **36**.
- FEDDE M.R., WAIBEL P.E., BURGER R.E., 1960. Factors affecting the absorbability of certain dietary fats in the chick. *J. Nutr.*, **70**, 447-452.
- FOLCH J., LEES M., SLOANE-STANLEY G.H., 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissue. *J. Biol. Chem.*, **226**, 497-509.

- GOMEZ M.X., POLIN D., 1974. Influence of cholic acid on the utilisation of fats in the growing chicken. *Poult. Sci.*, **53**, 773-781.
- GOMEZ M.X., POLIN D., 1976. The use of bile salts to improve absorption of tallow in chicks, one to three weeks of age. *Poult. Sci.*, **55**, 2189-2195.
- HAKANSSON J., 1974. Factors affecting the digestibility of fats and fatty acids in chicks and hens. *Swed. J. Agric. Res.*, **4**, 33-47.
- HILL F.W., ANDERSON D.L., 1958. Comparison of metabolizable energy and productive energy determination with growing chicks. *J. Nutr.*, **64**, 587-603.
- KUSSAIBATI R., GUILLAUME J., LECLERCQ B., 1982 a. The effects of age, dietary fat and bile salts and feeding rate on apparent and true metabolisable energy values in chickens. *Br. Poult. Sci.*, **23**, 393-403.
- KUSSAIBATI R., GUILLAUME J., LECLERCQ B., 1982 b. The effects of endogenous energy, type of diet and addition of bile salts on true metabolisable energy values in young chicks. *Poult. Sci.*, **61**, 2218-2223.
- KUSSAIBATI R., GUILLAUME J., LECLERCQ B., LAFONT J.P., 1982 c. Effects of the intestinal microflora and added bile salts on the metabolisable energy and digestibility of saturated fats in the chicken. *Arch. Geflügelk.*, **46**, 42-46.
- LECLERCQ B., 1973. Contribution de l'aliment et des réserves corporelles à la g n se des lipides vitellins de la poule. *Doct. d'Etat Sciences*, Univ. de Paris-VI.
- LESSIRE M., LECLERCQ B., CONAN L., 1982. Metabolisable energy value of fats in chicks and adult cockerels. *Anim. Feed. Sci. Technol.*, **7**, 365-374.
- MARCH B., BIELY J., 1957. Fat studies in poultry. 6. - Utilisation of fats of different melting point. *Poult. Sci.*, **36**, 71-75.
- MATEOS G.G., SELL J.L., 1980. Influence of carbohydrate and supplemental fat source on the metabolizable energy of the diet. *Poult. Sci.*, **59**, 2129-2135.
- MATEOS G.G., SELL J.L., 1981. Nature of the extrametabolic effects of supplemental fat used in semipurified diets for laying hens. *Poult. Sci.*, **60**, 1925-1930.
- NELSON T.S., MILES R.D., 1972. Effect of calcium and phosphorus on energy utilization by chicks. *Poult. Sci.*, **51**, 1536-1540.
- OLIVIER A.H., 1970. The inter-relationships between calcium absorption and bile. *Experimentia*, **26**, 854 (Abstr.).
- PLESSIER J., 1960. Confrontation des actions cholécystokin tiques et chol r tiques de la cholécystokinine, du sorbitol, de l'huile d'olive et du sulfate de magn sie. *Path. Biol.*, **8**, 1202-1210.
- RENNER R., HILL F.W., 1961. Factors affecting the absorbability of saturated fatty acids in chicks. *J. Nutr.*, **74**, 254-258.
- SAUNDERS D.R., SILLERY J., 1979. Effects of calcium on absorption of fatty acid by rat jejunum *in vitro*. *Lipids*, **14**, 703-706.
- SIBBALD I.R., SLINGER S.J., ASHTON G.C., 1961. Factors affecting the metabolizable energy content of poultry feeds. 4. - The influence of calcium, phosphorus, antibiotic and pantothenic acid. *Poult. Sci.*, **40**, 945-951.
- SNEDECOR G.W., 1956. *Statistical methods*. The Iowa State College Press, Ames, Iowa, 291-328.
- STRAUSS E.W., 1975. Importance of calcium and magnesium ions for fat absorption *in vitro*. *Gastroenterology*, **68**, 992 (Abstr.).
- STRAUSS E.W., 1977. Effects of calcium and magnesium ions upon fat absorption by sacs of everted hamster intestine. *Gastroenterology*, **73**, 421 (Abstr.).
- TERPSTRA K., DE HART N., 1974. The estimation of urinary nitrogen and faecal nitrogen in poultry excreta. *Z. Tierphysiol. Tierern hr. Futtermittelkde*, **32**, 306-320.
- THIEULIN C., 1968. Les divers facteurs influant sur l'utilisation digestive des mati res grasses. *Ann. Nutr. Alim.*, **22**, 245-258.
- YACOWITZ H., FLEISCHMAN A.I., AMSDEN R.T., BIERENBAUM M.L., 1967. Effect of dietary calcium upon lipid metabolism in rats fed saturated or insaturated fat. *J. Nutr.*, **92**, 389-392.