

**INFLUENCE DU TAUX CALCIQUE
DU RÉGIME ALIMENTAIRE
SUR L'UTILISATION PHYSIOLOGIQUE DU CALCIUM
DE DIVERS SELS**

**II. — ÉTUDE COMPARATIVE DU CARBONATE DE CALCIUM
ET DU PHOSPHATE TRICALCIQUE**

PAR

Jean CAUSERET et Denise HUGOT

Laboratoire d'Études sur la Nutrition, Paris.

PLAN DU MÉMOIRE

I. — Introduction.

II. — Techniques expérimentales.

III. — Résultats et discussion.

1° Efficacité biologique du carbonate de calcium et du phosphate tricalcique. Comparaison des résultats avec ceux des expériences antérieures.

2° Modalités d'élimination du calcium.

3° Influence du rapport calcium /phosphore du régime sur l'utilisation physiologique du calcium.

IV. — Conclusions.

Références bibliographiques.

I. — INTRODUCTION

Les expérimentateurs qui ont tenté d'établir un classement des diverses sources alimentaires de calcium par ordre d'efficacité biologique ont effectué leurs comparaisons sur des sujets soumis à un régime contenant une quantité de calcium déterminée et plus ou moins arbitraire. Or, ainsi que nous l'avons fait remarquer dans une publication antérieure (5), on ne peut exclure a priori que la « hiérarchie » biologique des différentes sources de calcium dépende des quantités de calcium ingérées. Il est donc imprudent de conclure à l'égalité d'intérêt de deux sources de calcium ou à la supériorité de l'une d'entre elles, si l'on n'a pas vérifié que cette

identité ou cette supériorité se manifeste pour *toutes* les valeurs possibles du taux d'ingestion calcique.

Tenant compte de cette nécessité, nous avons montré dans le travail déjà cité que, chez le jeune Rat, les variations du coefficient de rétention du calcium en fonction du taux calcique du régime sont les mêmes, que le calcium soit fourni sous forme de carbonate, de sulfate ou de lactate. Nous avons pu en conclure que, dans les conditions de l'expérience, ces trois sels étaient également aptes à satisfaire le besoin calcique de croissance ⁽¹⁾.

TABLEAU I
Caractéristiques des régimes d'expérience.

Lots	Sels introduits	Doses de sels	Taux calcique du régime	Rapport Ca/P du régime
I.....	Carbonate de calcium	0,175	0,10	0,28
II.....	—	0,425	0,20	0,56
III.....	—	0,800	0,35	0,97
IV.....	—	1,175	0,50	1,31
V.....	—	1,675	0,70	1,94
VI.....	Phosphate tricalcique	0,189	0,10	0,25
VII.....	—	0,459	0,20	0,44
VIII.....	—	0,865	0,35	0,66
IX.....	—	1,270	0,50	0,82
X.....	—	1,811	0,70	0,97
XI.....	Carbonate de Ca + Phosphate monopotassique	0,175 + 0,166	0,10	0,25
XII.....	—	0,425 + 0,403	0,20	0,44
XIII.....	—	0,800 + 0,759	0,35	0,66
XIV.....	—	1,175 + 1,114	0,50	0,82
XV.....	—	1,675 + 1,589	0,70	0,97

Dans un nouveau travail qui fait l'objet du présent mémoire, nous avons comparé, dans des conditions identiques, l'efficacité biologique du carbonate de calcium et du phosphate tricalcique. Cependant, une difficulté se présentait : l'introduction d'égales quantités de calcium sous ces deux formes, dans un même mélange de base, donnait évidemment des régimes de rapports phospho-calciques différents. Or, d'après certains auteurs, la valeur de ce rapport pourrait exercer une influence sur l'utilisation physiologique du calcium. Aussi, pour chaque valeur expérimentale de la teneur en calcium du régime, avons-nous comparé l'efficacité biologique :

- du carbonate de calcium,
- du phosphate tricalcique,

⁽¹⁾ Cette conclusion est en désaccord partiel avec celle de JACQUOT et collab. (8) qui, pour un seul niveau d'ingestion calcique, attribuent au sulfate de calcium une efficacité nettement inférieure à celle du carbonate et du lactate.

— d'un mélange de carbonate de calcium et de phosphate monopotassique contenant ce dernier sel en quantité telle, que le rapport Ca/P du régime correspondant soit égal à celui du régime isocalcique à base de phosphate tricalcique.

II. — TECHNIQUES EXPÉRIMENTALES

L'expérience a porté sur 75 rats mâles. Ces rats ont été répartis en 15 lots de 5 sujets et ont reçu des régimes dérivés du mélange de base pauvre en calcium (30 mg p. 100 g) dont la composition a été indiquée dans le mémoire précédent (5). Le taux du calcium et le rapport Ca/P des régimes sont indiqués dans le tableau I.

Les bilans calciques des animaux ont été déterminés dans les mêmes conditions qu'au cours du précédent travail.

III. — RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les résultats obtenus sont réunis dans les tableaux II, III et IV.

1° Efficacité biologique du carbonate de calcium et du phosphate tricalcique.

Comparaison des résultats avec ceux des expériences antérieures.

Comme le montrent les tableaux II à IV et la figure 1, les variations du coefficient de rétention en fonction de la teneur en calcium du régime sont tout à fait comparables à celles que nous avons observées dans des travaux antérieurs (9, 4, 5). Elles sont identiques pour le carbonate, — donné seul ou additionné de phosphate monopotassique—, et pour le phosphate tricalcique. Dans les conditions où nous nous sommes placés, le carbonate et le phosphate apparaissent donc également aptes à satisfaire le besoin calcique de croissance du Rat.

Le rapprochement de ces résultats avec ceux de nos expériences antérieures ne montre aucune différence sensible d'efficacité biologique entre le phosphate tricalcique, le carbonate, le sulfate et le lactate de calcium, que la teneur en calcium du régime soit faible, voisine des valeurs « normales », ou élevée. Cette constatation suggère que, dans le calcul des quantités de calcium qu'il convient d'introduire dans la ration des animaux, il n'est probablement pas indispensable de se préoccuper de la nature de l'anion auquel est lié cet élément, pourvu que le sel utilisé ne présente pas notablement une efficacité médiocre (comme c'est le cas par exemple chez l'oxalate de calcium et, chez certaines espèces animales, pour l'inositohexaphosphate), pourvu aussi que le régime assure par ail-

leurs un apport suffisant des éléments nécessaires à la fixation du calcium dans l'organisme (phosphore, vitamine D). En laissant de côté quelques cas particuliers, nous croyons pouvoir nous ranger à l'opinion de D. et M. HINGLAIS (6) qui écrivent : « S'il existe une hiérarchie dans la valeur utile des sels de calcium, elle n'a qu'une importance très relative du point de vue qui nous intéresse (1) et le moins cher des « aliments calciques » vaut le plus compliqué d'entre eux pour satisfaire aux besoins de l'organisme ».

TABLEAU II

Bilans calciques des sujets recevant du carbonate de calcium (10 jours).

Lots	Sujets	Ca ingéré	Ca fécal	Ca urinaire	Ca urinaire Ca tot. excrété	Rétention calcique	Coeffi- cient de rétention
Lot I	1	137,3	8,5	2,5	22,8	126,1	92
	2	116,3	4,9	2,1	29,4	109,3	94
	3	134,2	12,0	1,8	13,3	120,4	90
	4	134,8	8,8	2,4	21,8	123,6	92
	5	133,1	21,5	2,9	11,9	108,8	82
	<i>Moyennes</i>					<i>118</i>	<i>90</i>
Lot II.....	6	235,4	22,6	3,3	12,6	209,5	89
	7	185,1	13,4	3,3	19,8	168,4	91
	8	260,1	15,2	3,7	19,7	241,2	93
	9	249,4	20,0	2,1	9,3	227,3	91
	10	250,2	22,2	1,7	7,0	226,3	90
	<i>Moyennes</i>				<i>214</i>	<i>91</i>	
Lot III.....	11	435,8	118,7	6,7	5,3	328,4	72
	12	420,0	65,1	3,4	4,9	351,5	84
	13	429,6	81,9	5,1	5,9	342,6	80
	14	452,2	53,3	2,9	5,2	396,0	88
	15	451,3	109,4	6,8	5,8	335,1	74
	<i>Moyennes</i>				<i>350</i>	<i>80</i>	
Lot IV.....	16	680,7	246,4	5,7	2,3	428,6	63
	17	561,6	206,2	5,1	2,4	359,3	62
	18	454,6	171,4	2,6	1,5	280,6	62
	19	612,3	239,9	5,1	2,1	367,3	60
	20	646,6	254,2	11,9	4,5	380,5	59
	<i>Moyennes</i>				<i>361</i>	<i>61</i>	
Lot V	21	975,4	555,8	12,6	2,2	407,0	42
	22	823,3	460,1	5,9	1,3	357,3	46
	23	904,4	457,3	8,0	1,7	439,1	48
	24	982,4	459,4	14,1	3,0	508,9	52
	25	869,9	431,1	20,5	4,5	418,3	48
	<i>Moyennes</i>				<i>426</i>	<i>47</i>	

Beaucoup plus important que la nature de l'anion auquel est lié le calcium, nous paraît être le niveau d'ingestion de cet élément. Le degré d'utilisation de tout sel calcique en dépend. Il est donc illogique d'évaluer le besoin alimentaire de calcium d'un sujet en divisant son besoin strict (c'est-à-dire la valeur « normale » de la rétention calcique) par un coefficient de rétention moyen qui demeure forcément arbitraire, à moins

(1) Il s'agit de l'évaluation des besoins calciques de l'enfant et de la possibilité de corriger les insuffisances calciques par administration de sels de calcium purs.

qu'il ne corresponde précisément à celui de sujets consommant une quantité de calcium voisine de celle considérée comme optimum à la suite du calcul précédent.

La méthode est pourtant utilisée couramment pour la détermination

TABLEAU III

Bilans calciques des sujets recevant du phosphate tricalcique (10 jours).

Lots	Sujets	Ca ingéré	Ca fécal	Ca urinaire	Ca urinaire Ca tot. excrété	Rétention calcique	Coefficient de rétention
		mg	mg	mg	p. 100	mg	p. 100
Lot VI	26	128,2	9,3	3,3	26,3	115,6	90
—	27	114,9	8,9	2,7	22,9	103,3	90
—	28	121,2	8,5	4,6	35,2	108,1	89
—	29	122,8	10,7	2,7	20,3	109,4	89
—	30	123,8	12,8	2,2	14,8	108,8	88
	<i>Moyennes</i>					<i>109</i>	<i>89</i>
Lot VII	31	254,9	27,9	2,5	8,3	224,5	88
—	32	229,3	17,1	3,1	15,2	209,1	91
—	33	237,7	32,1	4,6	12,4	201,0	84
—	34	236,0	24,7	5,4	18,0	205,8	87
—	35	238,2	32,6	2,8	7,8	202,8	85
	<i>Moyennes</i>					<i>209</i>	<i>87</i>
Lot VIII	36	491,5	100,0	4,6	4,4	386,9	79
—	37	429,6	67,2	3,4	4,9	359,0	84
—	38	440,5	106,0	5,3	4,8	329,2	75
—	39	451,1	80,2	6,8	7,1	355,1	79
—	40	475,1	118,0	6,5	5,3	350,6	74
	<i>Moyennes</i>					<i>356</i>	<i>78</i>
Lot IX	41	652,1	160,9	3,8	2,3	487,4	75
—	42	657,4	201,1	6,6	3,2	449,7	68
—	43	663,4	222,6	5,6	2,5	435,2	66
—	44	586,9	212,4	3,0	1,4	371,5	63
—	45	627,1	222,1	7,5	3,3	397,5	63
	<i>Moyennes</i>					<i>428</i>	<i>67</i>
Lot X	46	1 023,9	436,4	15,6	3,5	571,9	56
—	47	790,1	339,9	10,1	2,9	440,0	56
—	48	941,8	515,4	6,9	1,3	419,5	44
—	49	820,5	495,3	6,3	1,3	318,9	39
—	50	842,9	484,1	4,8	1,0	354,0	42
	<i>Moyennes</i>					<i>421</i>	<i>47</i>

du besoin calcique de croissance de l'enfant ou des animaux domestiques (1). Ainsi, chez l'enfant, LEITCH (9) admet que le coefficient de rétention moyen est de l'ordre de 50 p. 100; mais MITCHELL (12) considère qu'il est compris le plus souvent entre 20 et 33 p. 100. Chez les animaux domestiques, on admet généralement qu'au cours de la croissance, la fixation du calcium porte sur un tiers environ des quantités ingérées.

(1) Nous ne tenons pas compte ici de la complication supplémentaire qui résulte de l'existence d'un besoin calcique d'entretien au cours de la croissance.

TABLEAU IV

Bilans calciques des sujets recevant du carbonate de calcium et du phosphate monopotassique (10 jours)

Lots	Sujets	Ca ingéré	Ca fécal	Ca urinaire	Ca urinaire		Rétention calcique	Coefficient de rétention
					Ca tot.	excréte		
		mg	mg	mg	p. 100		mg	p. 100
Lot XI	51	146,1	9,0	2,2	19,6		134,9	92
—	52	112,8	5,0	3,4	40,2		104,4	92
—	53	112,8	5,0	2,9	36,9		104,9	93
—	54	123,7	6,0	3,3	35,6		114,4	92
—	55	128,8	26,7	4,0	13,0		98,1	76
	<i>Moyennes</i>						<i>111</i>	<i>89</i>
Lot XII	56	235,3	15,9	3,4	17,6		216,0	92
—	57	223,7	43,1	3,6	7,8		176,9	79
—	58	259,5	24,6	4,2	14,5		230,7	89
—	59	247,7	31,5	3,0	8,6		213,2	86
—	60	241,6	13,4	2,8	17,5		225,4	93
	<i>Moyennes</i>						<i>212</i>	<i>88</i>
Lot XIII	61	452,5	158,9	3,9	2,4		289,7	64
—	62	407,2	77,6	5,2	6,3		324,4	80
—	63	392,4	75,6	4,9	6,1		311,9	80
—	64	467,8	109,7	5,4	4,7		352,6	75
—	65	454,1	90,1	4,6	4,8		359,4	79
	<i>Moyennes</i>						<i>328</i>	<i>76</i>
Lot XIV	66	655,3	199,2	3,5	1,7		452,6	69
—	67	639,0	195,1	6,5	3,2		437,4	68
—	68	719,4	308,5	6,0	1,9		404,9	56
—	69	748,4	280,7	7,2	2,5		460,5	61
—	70	708,3	261,3	4,8	1,8		442,2	62
	<i>Moyennes</i>						<i>439</i>	<i>64</i>
Lot XV	71	924,1	572,4	4,9	0,9		346,8	37
—	72	887,2	506,0	3,4	0,7		377,8	43
—	73	1 020,3	545,1	6,9	1,2		474,3	46
—	74	843,8	475,4	3,6	0,8		364,8	43
—	75	879,3	451,5	4,7	1,0		423,1	48
	<i>Moyennes</i>						<i>397</i>	<i>44</i>

2° Modalités d'élimination du calcium.

Les modalités d'élimination du calcium ont été comparables pour les trois types d'apport calcique.

On notera en particulier que, contrairement aux observations de MALM (11) chez l'Homme, puis de NICOLAYSEN et collab. (13) chez le Rat, l'addition de fortes quantités de phosphore aux régimes à base de carbonate n'a entraîné, dans la plupart des cas, aucune modification significative de l'élimination calcique rénale.

3° Influence du rapport calcium/phosphore du régime sur l'utilisation physiologique du calcium.

Comme le montre le tableau I, la valeur du rapport calcium/phosphore, pour une même teneur en calcium du régime, est très différente

pour le régime à base de carbonate d'une part, et pour les régimes à base de phosphate tricalcique ou de carbonate + phosphate monopotassique d'autre part. La différence s'accroît progressivement avec le taux calcique du régime : pour le taux le plus élevé, le rapport Ca/P atteint environ 2 pour le régime à base de carbonate, et environ 1 pour les deux autres (taux de phosphore : respectivement 0,7 et 1,4 p. 100).

De telles différences n'ont pas affecté l'utilisation physiologique du

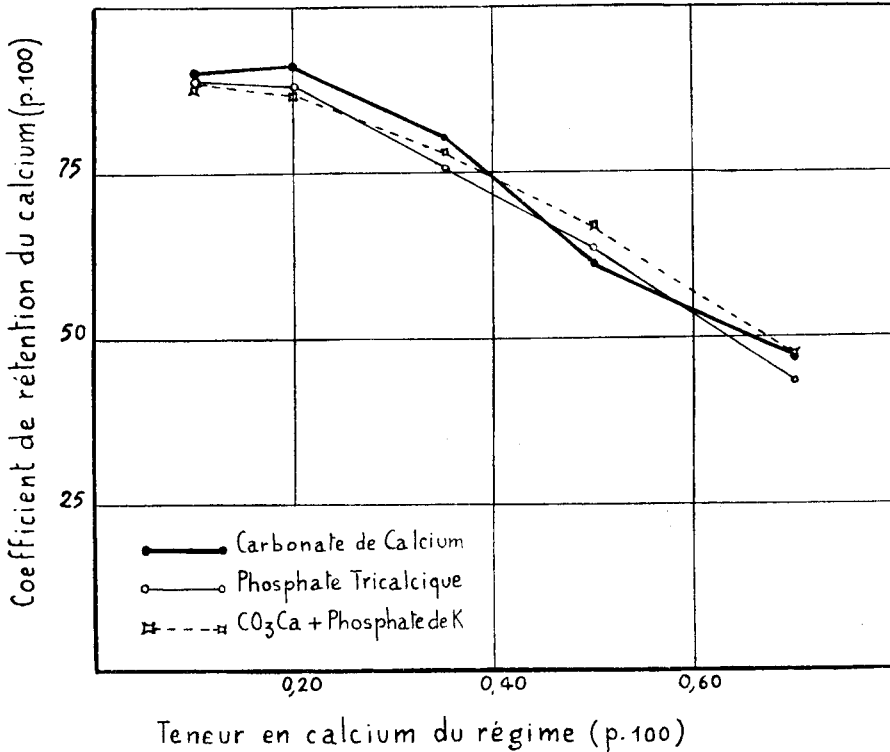


FIG. 1. — Influence de la teneur en calcium du régime sur le coefficient de rétention du calcium.

calcium, ce qui est en contradiction avec l'idée communément répandue que toute modification importante de l'équilibre phosphocalcique de l'alimentation retentit nécessairement sur la calcification. De plus, la croissance générale des animaux n'a pas été affectée de manière significative par les variations du rapport Ca/P (tableau V) (1).

(1) Il n'y a pas lieu de s'étonner que le gain de poids soit pratiquement aussi élevé avec les régimes hypocalciques (à 0,10 p. 100 de calcium) qu'avec les régimes normaux ou riches en calcium. Nous avons déjà signalé que, pendant une longue durée, l'insuffisance calcique, à moins d'être très marquée, n'affecte le développement pondéral que dans le cas où le régime est privé de vitamine D, cet effet résultant d'une diminution de la consommation de nourriture ; la vitamine D suffit à rétablir la valeur normale de la consommation et assure par là-même une croissance générale apparemment satisfaisante (3,7). Mais l'ossification se trouve évidemment entravée (4).

Ces constatations, jointes aux résultats des nombreux bilans calciques que nous avons effectués antérieurement dans des conditions expérimentales diverses, montrent que, pour un même apport alimentaire de calcium, le rapport Ca/P du régime peut varier entre des limites assez larges sans que la calcification et la croissance pondérale s'en trouvent affectées. BETHKE et collab. (I) ont cru pouvoir affirmer autrefois que,

TABLEAU V

Gain de poids moyen des animaux, en 10 jours.

Taux calcique des régimes (%)	Gain de poids (grammes)		
	Carbonate de Ca	Phosphate tricalcique	Carbonate de Ca + Phosphate monopot.
0,10	52	42	46
0,20	44	47	46
0,35	52	48	50
0,50	46	49	55
0,70	51	43	42

de ces deux derniers points de vue, l'équilibre phosphocalcique du régime a plus d'importance que sa teneur absolue en phosphore et en calcium, et cette idée demeure ancrée dans bien des esprits. Appliquée aux problèmes courants de l'alimentation humaine ou animale, elle paraît au contraire manquer de bases expérimentales. Il faut avant tout assurer un apport quantitativement suffisant de phosphore et de calcium, puisque toute insuffisance de l'un de ces éléments risque d'entraver la minéralisation osseuse. En revanche, l'organisme semble capable de s'adapter à des équilibres phosphocalciques très variés. Ce n'est vraisemblablement que dans des cas extrêmes que l'organisme subit un réel dommage : ainsi, la plupart des régimes rachitigènes destinés au Rat ont un rapport Ca/P compris entre 4 et 6.

Nous sommes donc d'accord avec MANDEL (II) lorsqu'il écrit qu'il est possible d'évaluer le besoin calcique minimum du Rat sans tenir compte du rapport Ca/P du régime, pourvu que l'apport de vitamine D soit suffisant (et pourvu, ajouterons-nous, que l'apport de phosphore soit suffisant aussi).

IV. — CONCLUSIONS

Dans les conditions de l'expérience, le phosphate tricalcique, le carbonate de calcium et le carbonate complété par une quantité de phosphate monopotassique suffisante pour porter le rapport Ca/P du régime à la même valeur que celle du régime isocalcique à base de phosphate tricalcique, se sont révélés également aptes à couvrir le besoin calcique de croissance du Rat, quelle que soit la teneur en calcium du régime. Le

rapprochement de ces résultats avec ceux d'autres expériences conduit à penser que, sauf dans quelques cas particuliers, la nature de l'anion auquel est lié le calcium exerce, sur l'utilisation physiologique de cet élément, une influence négligeable par rapport à celle de la teneur en calcium du régime.

Pour une même teneur en calcium du régime, des variations notables du rapport Ca/P (de 1 à 2 par exemple, dans le cas de régimes contenant 0,70 p. 100 de calcium) n'ont exercé aucune influence sensible sur la rétention calcique.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) BETHKE (R. M.), KICK (C. H.) et WILDER (W.). — The effect of the calcium phosphorus relationship on growth, calcification and blood composition of the rat. *Journ. Biol. Chem.*, **98**, 389, 1932.
- (2) CAUSERET (J.). — La vitamine D, facteur de régulation du pouvoir physiologique de fixation du calcium. *C. R. Ac. Sc.*, **237**, 104, 1953.
- (3) CAUSERET (J.). — Un nouvel aspect de l'action de la vitamine D sur la croissance. *C. R. Ac. Sc.*, **238**, 160, 1954.
- (4) CAUSERET (J.). — Recherches sur l'utilisation physiologique du calcium au cours de la croissance chez le Rat. Nouveaux aspects du rôle biologique de la vitamine D. *Ann. de Zootechnie*, **4**, 271, 1954 ; *ibid.*, **5**, 68, 1955.
- (5) CAUSERET (J.) et HUGOT (D.). — Influence du taux calcique du régime alimentaire sur l'utilisation physiologique du calcium de divers sels. I. Étude comparative du carbonate, du sulfate et du lactate de calcium. *Ann. de Zootechnie*, **7**, 69, 1957.
- (6) HINGLAIS (D.) et HINGLAIS (M.). — Carence calcique et régime alimentaire. Masson éd., 1941.
- (7) HUGOT (D.) et CAUSERET (J.). — L'effet de croissance exercé par la vitamine D chez le Rat soumis à un régime alimentaire hypocalcique résulte-t-il d'une stimulation de l'appétit? *C. R. Ac. Sc.*, **245**, 1340, 1957.
- (8) JACQUOT-ARMAND (Y.), JACQUOT (R.) et BERTRAND (J.). — Recherches sur l'assimilation du calcium et du phosphore. I. Influence de la nature des sels ingérés sur la rétention du calcium et du phosphore. *Bull. Soc. Chim. Biol.*, **26**, 57, 1944.
- (9) LEITCH (I.). — The determination of the calcium requirements of man. *Nutr. Abstr. Rev.*, **6**, 553, 1937.
- (10) MALM (O. J.). — On phosphates and phosphoric acid as dietary factors in the calcium balance of man. *Scand. Journ. Clin. Lab. Invest.*, **5**, 75, 1953.
- (11) MANDEL (P.). — Recherches sur les besoins calciques minima du Rat blanc. *IV^e Congrès Int. de Nutrition* (Paris, 1957), vol. des résumés, p. 197.
- (12) MITCHELL (H. H.). — The dietary requirement of calcium and its significance. Hermann éd. (*Act. Sc. et Ind.*, n° 771), 1939.
- (13) NICOLAYSEN (R.), EGG-LARSEN (N.) et MALM (O. J.). — Physiology of calcium metabolism. *Physiol. Rev.*, **33**, 424, 1953.