

**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**

PAR

Jean CAUSERET et Denise HUGOT
Laboratoire d'Études sur la Nutrition, Paris.

PLAN DU MÉMOIRE

- I. — Introduction.**
 - II. — Techniques expérimentales.**
 - III. — Résultats :**
 - 1° Efficacité globale des sels étudiés.
 - 2° Mode d'élimination du calcium.
 - IV. — Conclusions.**
- Références bibliographiques.**

I. — INTRODUCTION

De nombreux expérimentateurs ont cherché à déterminer comparativement l'efficacité physiologique de divers sels de calcium, mais les résultats auxquels ils sont parvenus présentent certaines discordances. S'il est universellement admis aujourd'hui qu'il n'existe aucune relation directe entre la solubilité des sels calciques et leur degré d'utilisation, s'il est reconnu également que les formes organiques du calcium n'ont aucune supériorité d'ensemble sur les formes minérales, des incertitudes demeurent en ce qui concerne certains sels. Ainsi, STEENBOCK et coll. (7), en se basant il est vrai sur de simples essais de croissance, attribuent au sulfate une efficacité identique à celle du carbonate, du lactate et du phosphate tricalcique. Par contre, JACQUOT (3) obtient, avec le sulfate, des bilans calciques nettement plus médiocres qu'avec ces trois derniers sels.

Des divergences plus marquées encore se manifestent dans les classe-

ments des divers sels calciques par ordre d'efficacité biologique, qu'ont proposé certains nutritionnistes. En voici quelques-uns :

Bicarbonate > bromure > chlorure > sulfate > phosphate tricalcique (chez l'Homme, d'après JANSEN (4)).

Carbonate = sulfate = gluconate = lactate (chez l'Homme, d'après PATTON et SUTTON (5)).

Lactate > gluconate > chlorure > inositohexaphosphate > phosphate bicalcique > glycérophosphate (chez la Souris, d'après BLISS et MORRISSON (1)).

Carbonate = chlorure = gluconate = lactate = phosphate bicalcique (chez le Rat, d'après TISDALL et DRAKE (8)).

Acétylglycocolate > phosphate tricalcique > lactate = carbonate > phosphate d'éthyle et de Ca > gluconate > glycérophosphate > sulfate (chez le Rat, d'après JACQUOT et coll. (3)).

De multiples facteurs peuvent expliquer ces divergences : variabilité du comportement des diverses espèces animales, influence des conditions d'alimentation (taux de protides du régime, taux de lipides et nature de ces derniers, taux de calcium et rapport calcium/phosphore, équilibre acido-basique, taux de magnésium, taux de vitamines B₁, A et D, etc.), enfin diversité des critères employés par les expérimentateurs (bilans calciques, évaluation de la vitesse d'absorption des divers sels, voire simples essais de croissance).

Dans un travail antérieur (2), l'un de nous a montré que l'efficacité biologique d'un sel de calcium déterminé, le carbonate, varie largement avec la quantité de calcium ingérée : chez le Rat, lorsque le taux calcique du régime, rapporté à la matière sèche, varie entre 0,05 et plus de 2 p. 100, le coefficient de rétention du calcium atteint un maximum très élevé pour les faibles valeurs du taux calcique alimentaire, mais s'abaisse fortement lorsque ce taux s'élève. Dans ces conditions, il faut se demander si, parmi les facteurs qui peuvent expliquer les divergences signalées plus haut, l'un des plus importants ne serait pas précisément le taux d'ingestion du calcium.

On voit la conséquence qui résulte d'une telle possibilité : pour que des comparaisons d'efficacité calcique aboutissant à un classement biologique des divers sels soit valable, il faut que ce classement soit complètement indépendant du niveau d'ingestion du calcium. Or, à notre connaissance, tous les expérimentateurs qui ont tenté d'établir une « hiérarchie » des sels calciques n'ont effectué leurs comparaisons que pour une seule teneur en calcium du régime.

En vue de combler cette lacune, nous avons réalisé, chez le jeune Rat, deux séries de comparaisons pour des valeurs très diverses du taux calcique alimentaire (0,01 à 0,7 p. 100 du régime) :

— comparaisons entre le carbonate, le sulfate et le lactate ;

— comparaisons entre le carbonate et le phosphate tricalcique, avec ou sans égalisation du rapport Ca/P des régimes.

Dans ce mémoire, figurent les résultats de la première série de comparaisons; ceux de la seconde sont publiés dans un autre mémoire.

II. — TECHNIQUES EXPÉRIMENTALES

L'expérience a porté sur 93 jeunes rats blancs provenant de notre élevage, du sexe mâle, pesant initialement de 55 à 75 grammes. Ces rats ont été répartis en 15 lots de 6 ou 7 sujets, qui ont reçu des régimes dérivés du mélange de base suivant :

Caséine lavée à l'alcool	18
Huile d'arachide.....	9
Amidon	45
Saccharose	24
Mélange salin de Hubbel sans CO_3Ca	2
Agar-agar.....	2

Ce mélange contenait 30 mg de calcium p. 100 g. Pour chaque lot, des quantités convenables de carbonate, de sulfate ou de lactate de calcium ont été substituées à d'égales quantités d'amidon, de manière que le taux calcique et le rapport Ca/P atteignent les valeurs indiquées dans le tableau I.

Les vitamines ont été introduites dans les régimes aux doses suivantes, par kg : thiamine, 2 mg ; riboflavine, 3 mg ; acide nicotinique, 50 mg ; pyridoxine, 2,5 mg ; pantothénate de calcium, 10 mg ; vitamine A, 1 800 U. I. ⁽¹⁾ ; vitamine D, 3 000 U. I. ⁽¹⁾ ; α -tocophérol, 15 mg ; vitamine K hydrosoluble, 1 mg.

Les 15 régimes ont été distribués sous forme de bouillies préparées à partir de 2 parties de mélange sec pour 1 partie d'eau distillée. Après une période d'adaptation de 3 jours, les bilans calciques ont duré 10 jours ; ils ont été réalisés au moyen d'un dispositif expérimental et conduits suivant une technique qui ont été décrits ailleurs (2). Le calcium a été dosé dans les régimes, les fèces et les urines par précipitation sous forme d'oxalate et par manganimétrie.

L'utilisation physiologique du calcium et ses modalités ont été déterminées par les formules habituelles :

$$\text{Rétention calcique} = \text{Ca ingéré} - (\text{Ca fécal} + \text{Ca urinaire})$$

$$\text{Coefficient de rétention} = \frac{\text{Ca ingéré} - (\text{Ca fécal} + \text{Ca urinaire})}{\text{Ca ingéré}} \times 100$$

Nous avons calculé également la proportion du calcium total excrété, présente dans l'urine :

$$\frac{\text{Ca urinaire}}{\text{Ca fécal} + \text{Ca urinaire}} \times 100$$

⁽¹⁾ Sous forme d'huile de foie de morue enrichie en vitamine D et introduite dans l'huile d'arachide du régime.

TABLEAU I
Caractéristiques des régimes d'expérience.

Lots	Sel introduit	Dose de sel	Taux calcique du régime	Rapport Ca/P du régime
		p. 100	p. 100	
I.....	Carbonate	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	1,39
V.....	—	1,675	0,70	1,94
VI.....	Sulfate	0,300	0,10	0,28
VII.....	—	0,730	0,20	0,56
VIII.....	—	1,375	0,35	0,97
IX.....	—	2,020	0,50	1,39
X.....	—	2,880	0,70	1,94
XI.....	Lactate	0,538	0,10	0,28
XII.....	—	1,308	0,20	0,56
XIII.....	—	2,461	0,35	0,97
XIV.....	—	3,615	0,50	1,39
XV.....	—	5,154	0,70	1,94

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.excr.	Rétention calcique	Coefficient de rétent.
		mg	mg	mg	p. 100	mg	p. 100
Lot I.....	1	94,4	10,7	2,7	20,1	81,0	86
—.....	2	83,4	8,9	2,1	19,1	72,4	87
—.....	3	81,2	11,1	3,0	21,3	67,1	83
—.....	4	88,4	9,6	3,4	26,1	75,4	85
—.....	5	80,8	7,6	1,6	17,4	71,6	89
—.....	6	90,4	5,2	1,9	20,8	83,3	92
	<i>Moyennes</i>					75	87
Lot II.....	7	221,3	18,7	3,4	15,4	199,2	90
—.....	8	202,2	16,7	2,8	14,3	182,7	90
—.....	9	167,8	16,6	4,3	20,6	146,9	88
—.....	10	185,0	32,2	2,7	7,7	150,1	81
—.....	11	195,5	28,0	4,4	13,4	163,1	84
	<i>Moyennes</i>					168	86
Lot III.....	12	316,2	133,0	3,7	2,7	179,5	57
—.....	13	223,1	92,6	2,7	2,8	127,8	57
—.....	14	324,4	117,9	2,6	2,1	203,9	63
—.....	15	376,7	70,2	3,3	4,5	303,2	80
—.....	16	276,6	48,6	1,8	3,6	226,2	82
—.....	17	275,9	60,6	3,0	4,7	212,3	77
—.....	18	281,2	59,9	2,4	3,8	218,9	78
	<i>Moyennes</i>					210	71
Lot IV.....	19	604,3	279,6	17,0	5,7	307,7	51
—.....	20	444,5	266,3	4,2	1,5	174,0	39
—.....	21	584,3	347,3	6,5	1,8	230,5	39
—.....	22	424,0	208,5	4,7	2,2	210,8	50
—.....	23	437,4	211,6	2,1	1,0	223,7	51
—.....	24	461,0	172,6	3,1	1,8	285,3	62
—.....	25	470,7	144,0	3,9	2,6	322,8	69
	<i>Moyennes</i>					251	52
Lot V.....	26	725,6	446,0	5,6	1,2	274,0	38
—.....	27	627,1	367,7	15,4	4,0	244,0	39
—.....	28	689,7	434,4	8,4	1,9	246,9	36
—.....	29	531,2	326,9	2,6	0,8	201,7	38
—.....	30	544,7	303,9	3,9	1,3	236,9	43
—.....	31	683,7	361,4	5,0	1,4	317,3	46
	<i>Moyennes</i>					253	40

III. — RÉSULTATS

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

1° Efficacité globale des sels étudiés.

Pour chaque valeur du taux calcique alimentaire, la rétention calcique et le coefficient de rétention du calcium sont du même ordre de grandeur pour le carbonate, le sulfate et le lactate, les faibles différences observées n'étant pas significatives. La figure 1 montre en particulier que si le coefficient de rétention varie considérablement avec le taux calcique du régime, — ce qui confirme nos constatations antérieures —, ces variations demeurent par contre indépendantes de la nature de l'anion des sels étudiés.

TABLEAU III

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

Lots	Sujets	Ca ingéré	Ca fécal	Ca urinaire	Ca urinaire	Rétention calcique	Coefficient de rétent.
					Ca tot.excr.		
		mg	mg	mg	p. 100	mg	p. 100
Lot VI	32	103,9	8,7	2,9	25,0	92,3	89
—	33	102,8	7,7	3,5	31,2	91,6	89
—	34	78,8	11,2	3,7	24,8	63,9	81
—	35	88,2	7,4	4,7	38,8	76,1	86
—	36	88,5	6,2	2,0	24,4	80,3	91
—	37	63,5	3,2	1,9	37,2	58,4	92
	<i>Moyennes</i>					77	88
Lot VII	38	237,1	20,8	4,8	18,7	211,5	89
—	39	207,6	18,7	3,5	15,8	185,4	89
—	40	165,7	39,8	3,1	7,2	122,8	74
—	41	203,1	23,3	7,6	24,6	172,2	85
—	42	190,1	25,1	3,2	11,3	161,8	85
—	43	156,4	27,9	6,8	19,6	121,7	78
	<i>Moyennes</i>					163	83
Lot VIII	44	391,4	88,0	4,3	4,6	209,1	69
—	45	374,0	117,6	3,1	22,0	223,3	60
—	46	350,6	171,0	12,0	6,5	167,6	48
—	47	365,9	104,8	10,2	8,9	250,9	69
—	48	363,8	86,8	9,8	10,1	267,2	73
—	49	293,4	109,8	4,5	3,9	179,1	61
—	50	302,8	102,0	7,9	7,2	192,9	64
	<i>Moyennes</i>					213	63
Lot IX	51	618,6	273,8	38,6	12,3	306,2	49
—	52	567,1	249,0	31,5	11,2	286,6	51
—	53	519,6	278,2	9,5	3,3	231,9	45
—	54	473,3	188,7	13,3	6,6	271,3	57
—	55	425,2	209,5	10,7	4,8	205,0	48
—	56	389,6	163,0	25,9	13,7	200,7	52
—	57	400,3	208,2	19,2	8,4	172,9	43
	<i>Moyennes</i>					239	49
Lot X	58	602,9	370,8	35,7	8,8	196,4	33
—	59	695,8	420,4	39,3	8,4	230,1	33
—	60	767,9	521,6	22,2	4,1	224,1	29
—	61	673,6	350,5	12,1	3,3	311,0	46
—	62	558,2	329,4	11,3	3,3	217,5	39
—	63	522,0	299,2	24,3	7,5	198,5	38
	<i>Moyennes</i>					230	36

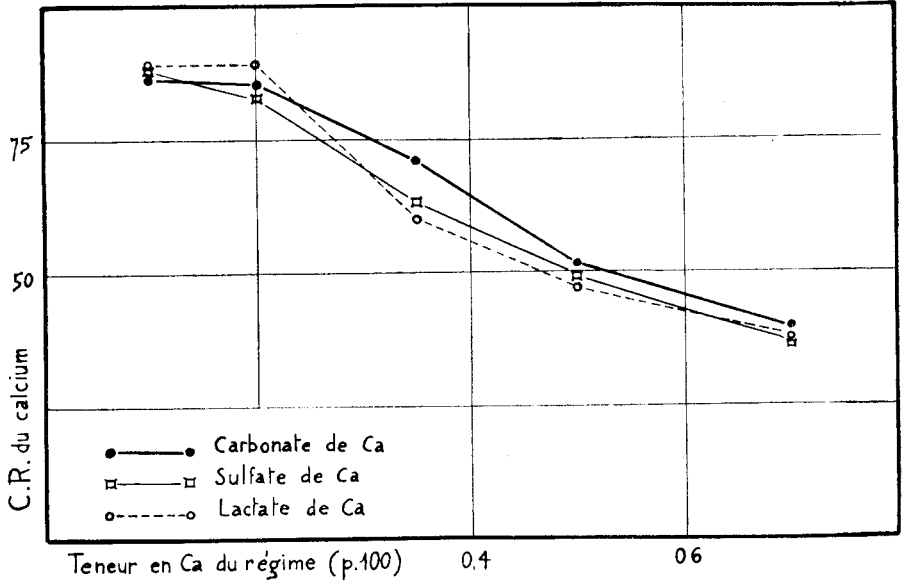


FIG. 1. — Influence de la teneur en calcium du régime sur le coefficient de rétention du calcium.

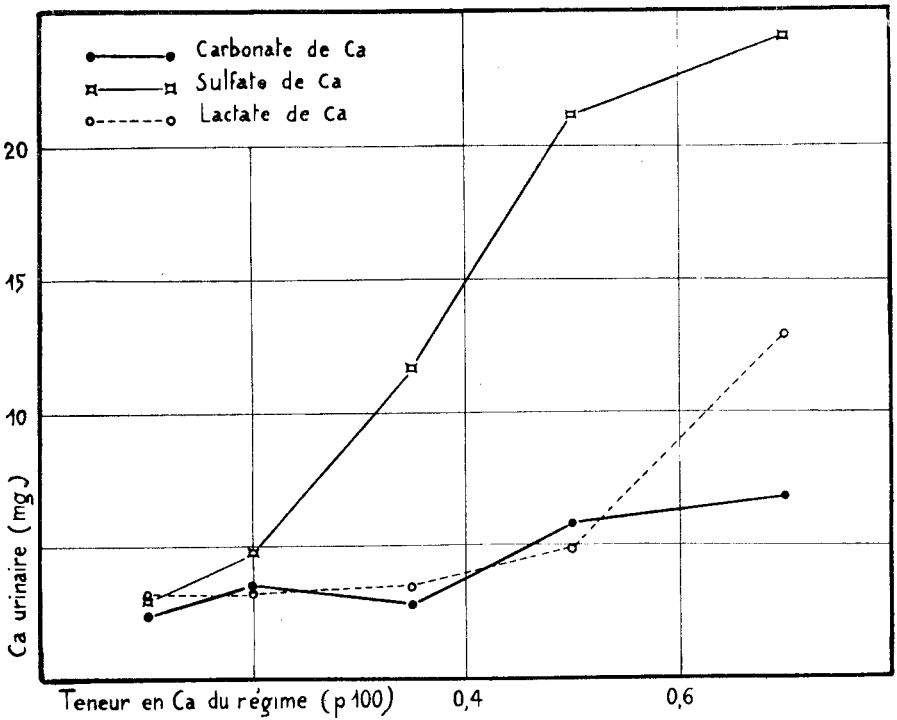


FIG. 2. — Influence de la teneur en calcium du régime sur l'excrétion calcique urinaire.

TABLEAU IV

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

Lots	Sujets	Ca ingéré	Ca fécal	Ca urinaire	Ca urinaire	Rétention calcique	Coefficient de rétention
					Ca tot.excr.		
		mg	mg	mg	p. 100	mg	p. 100
Lot XI	64	113,4	9,5	4,9	34,0	99,0	87
—	65	89,8	7,6	4,5	37,2	77,7	87
—	66	77,3	9,2	2,2	19,3	65,9	85
—	67	87,9	5,2	2,8	35,0	79,9	91
—	68	72,4	5,3	2,2	29,3	64,9	90
—	69	94,2	4,9	2,1	30,0	87,2	93
	<i>Moyennes</i>					79	89
Lot XII	70	231,4	17,3	3,6	17,2	210,5	91
—	71	200,5	12,5	4,3	25,6	183,7	92
—	72	173,6	21,5	3,5	14,0	148,6	86
—	73	176,2	8,4	3,9	31,7	163,9	93
—	74	157,3	16,2	2,7	14,4	138,4	88
—	75	144,1	9,3	2,3	19,8	132,5	92
	<i>Moyennes</i>					163	90
Lot XIII ...	76	419,2	173,6	1,6	0,9	244,0	58
— ...	77	354,9	180,2	6,8	3,6	167,9	47
— ...	78	348,4	173,6	3,8	2,1	171,0	49
— ...	79	318,8	84,8	4,7	5,2	229,3	72
— ...	80	308,2	107,5	2,9	2,6	197,8	64
— ...	81	359,3	103,1	1,4	1,3	254,8	71
	<i>Moyennes</i>					211	60
Lot XIV ...	82	446,1	264,8	7,1	2,6	174,2	39
— ...	83	464,5	188,0	4,1	2,1	272,4	59
— ...	84	381,3	210,4	4,7	2,2	166,2	44
— ...	85	417,7	208,3	4,3	2,0	205,1	49
— ...	86	426,7	220,0	5,7	2,5	201,0	47
— ...	87	380,8	198,5	3,7	1,8	178,6	47
	<i>Moyennes</i>					200	47
Lot XV	88	659,4	420,8	16,6	3,8	222,0	34
—	89	657,1	422,7	19,1	4,4	215,0	33
—	90	764,7	508,9	16,4	3,1	239,4	31
—	91	634,5	383,5	9,2	2,3	241,8	38
—	92	735,6	392,8	4,3	1,1	338,5	46
—	93	634,6	363,8	6,8	1,8	264,0	42
	<i>Moyennes</i>					253	37

Dans les conditions où nous nous sommes placés, on peut donc valablement affirmer que le carbonate, le sulfate et le lactate de calcium sont également aptes à couvrir le besoin calcique de croissance chez le Rat.

2° Mode d'élimination du calcium.

Pour chaque valeur du taux calcique alimentaire, l'élimination intestinale du calcium est du même ordre de grandeur pour les trois sels.

Par contre, l'anion auquel est lié le calcium exerce une influence sur l'élimination calcique rénale : comme le montrent les tableaux II, III, et IV et la figure 2, la perte calcique urinaire et la proportion du calcium excrété total qui se retrouve dans l'urine croissent beaucoup plus nettement avec le taux calcique alimentaire lorsque le calcium est fourni sous

forme de sulfate, que lorsqu'il est fourni sous forme de lactate ou de carbonate. Cependant, la quantité de calcium éliminée par le rein étant très faible par rapport à celle qui est rejetée par la voie intestinale, l'accroissement de l'excrétion calcique urinaire observé chez les animaux qui reçoivent de fortes quantités de sulfate de calcium n'exerce qu'une influence négligeable sur le bilan global du calcium.

Il nous paraît utile de rappeler qu'antérieurement, nous avons constaté que de fortes doses de sulfate de magnésium accroissent l'élimination urinaire du calcium, tandis que des doses de carbonate, de chlorure ou de citrate apportant les mêmes quantités de magnésium n'exercent sur ce point qu'un effet beaucoup plus limité ou même aucun effet (6). Il serait donc intéressant de rechercher si l'accroissement de l'élimination calcique rénale constitue une propriété générale de l'ion SO_4 .

IV. — CONCLUSIONS

Chez le jeune Rat, l'efficacité biologique du calcium alimentaire varie largement avec le taux calcique du régime : dans notre expérience, lorsque ce taux passe de 0,1 à 0,7 p. 100, le coefficient de rétention du calcium s'abaisse progressivement de près de 90 jusqu'à 35-40 p. 100.

Les variations observées sont pratiquement identiques avec le carbonate, le sulfate et le lactate : dans les conditions où nous nous sommes placés, les trois sels sont également aptes à couvrir le besoin calcique de croissance.

Cependant, lorsque le taux calcique du régime est suffisamment élevé, l'élimination rénale du calcium est nettement plus forte chez les sujets qui reçoivent du sulfate que chez les autres.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) BLISS (A. R. jr) et MORRISON (R. W.). — A comparative study of the absorbability of six calcium compounds. *Journ. Amer. Pharm. Assoc.*, **24**, 280, 1935.
- (2) 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*, **3**, 271, 1954.
- (3) 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.
- (4) JANSEN (W. H.). — [Métabolisme du calcium, teneur du sang en calcium et action du calcium]. *Klin. Woch.*, **3**, 715, 1924.

- (5) PATTON (M. B.) et SUTTON (T. S.). — The utilization of calcium from lactate, gluconate, sulfate and carbonate salts by young college women. *Journ. Nutr.*, **48**, 443, 1952.
 - (6) RANDOIN (L.), CAUSERET (J.), HUGOT (D.) et MOREL (G.). — Influence de divers sels magnésiens administrés par voie orale sur la rétention du calcium dans l'organisme. *Bull. Soc. Chim. Biol.*, **34**, 1159, 1952.
 - (7) STEENBOCK (H.), HART (E. B.), SELL (M. T.) et JONES (J. H.). — The availability of calcium salts. *Journ. Biol. Chem.*, **56**, 375, 1923.
 - (8) TISDALL (F. F.) et DRAKE (T. G. H.). — The utilization of calcium. *Journ. Nutr.*, **16**, 613, 1938.
-