

## INCIDENCES NUTRITIONNELLES ET TOXICOLOGIQUES DE L'INGESTION D'HUILE DE LIN CHAUFFÉE

### II. — EFFET SUR L'EFFICACITÉ BIOLOGIQUE DU CALCIUM ALIMENTAIRE

B. POTTEAU et J. LECLERC

avec la collaboration technique de W. LOISEL

*Laboratoire d'Étude des Qualités biologiques des Aliments de l'Homme,  
Centre national de Recherches zootechniques, 78 — Jouy-en-Josas*

---

### SOMMAIRE

Les auteurs ont déterminé pendant une période de 30 jours l'excrétion et le bilan du calcium chez de jeunes rats soumis à des régimes contenant 20 p. 100 d'huile de lin soit fraîche, soit traitée par l'un des procédés suivants :

- 1° chauffage pendant 40 h à 220°C, sans protection contre l'oxygène de l'air ;
- 2° chauffage identique, avec protection contre l'oxygène de l'air (par barbotement d'azote) ;
- 3° chauffage pendant 12 h à 275°C, avec protection contre l'oxygène de l'air (par barbotement d'azote) ;

L'excrétion fécale du calcium est peu affectée par l'ingestion d'huile chauffée : seule l'excrétion fécale du calcium chez les sujets recevant l'huile soumise au chauffage (3) est légèrement augmentée par rapport à celle des témoins recevant de l'huile fraîche.

En revanche, l'excrétion urinaire du calcium est moins élevée chez les animaux recevant de l'huile chauffée que chez les témoins : quel que soit le mode de chauffage, la diminution de l'excrétion est de l'ordre de 50 p. 100.

Ce dernier effet a peu de répercussion sur la rétention du calcium. Sa signification est discutée.

### INTRODUCTION

La résorption du calcium peut varier avec la nature des graisses ingérées : en général, elle est d'autant plus complète que l'utilisation digestive des graisses est elle-même plus élevée (BOSWORTH *et al.*, 1918 ; BOYD *et al.*, 1932 ; CALVERLEY et KENNEDY, 1949 ; BEADLES *et al.*, 1951, etc.). Ce parallélisme est dû au fait que les acides gras non absorbés sont éliminés pour une large part sous forme de savons de calcium (1).

(1) Il en est de même dans les stéatorrhées primitives ou secondaires.

Il serait intéressant de savoir si les traitements appliqués aux matières grasses — en particulier leur chauffage — modifient leur influence sur l'utilisation du calcium par l'organisme. En effet, les traitements thermiques sévères entraînent des modifications de la composition des lipides, modifications qui s'accompagnent généralement d'une diminution de leur utilisation digestive (ROY, 1944; LASSEN *et al.*, 1949; RAULIN et PETIT, 1960).

Cependant, il ne semble pas que cette question ait beaucoup retenu l'attention jusqu'ici. Seuls, à notre connaissance, SINHA *et al.* (1956) ont signalé que l'administration d'huile de sésame portée 3 h. à 250° ou à 350°C entraîne chez le Rat une diminution simultanée de la résorption de la matière grasse et de celle du calcium.

Il nous a donc semblé utile de reprendre l'étude de ce problème, dans le cadre de nos recherches sur les incidences nutritionnelles et toxicologiques de l'ingestion d'huile de lin chauffée.

## MÉTHODES

Les caractéristiques des animaux, celles de l'huile de lin utilisée, les modes de chauffage appliqués et la composition des régimes ont été décrits dans la première partie de notre étude (POTTEAU et CLUZAN, 1966). Nous nous bornerons donc à rappeler les grandes lignes du protocole expérimental (tabl. I).

TABLEAU I  
*Protocole expérimental*

N° du lot	Huile de lin administrée <sup>(1)</sup>	Quantités de régime ingérées
C <sub>1</sub>	Huile chauffée n° I <sup>(2)</sup> Huile chauffée n° II <sup>(2)</sup> Huile chauffée n° III <sup>(2)</sup>	<i>ad libitum</i>
C <sub>2</sub>		<i>ad libitum</i>
C <sub>3</sub>		<i>ad libitum</i>
T <sub>0</sub>	Huile non chauffée	<i>ad libitum</i>
T <sub>1</sub>		Quantités alignées sur C <sub>1</sub> <sup>(3)</sup>
T <sub>2</sub>		Quantités alignées sur C <sub>2</sub> <sup>(3)</sup>
T <sub>3</sub>		Quantités alignées sur C <sub>3</sub> <sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Par introduction au taux de 20 p. 100 dans un régime alimentaire équilibré.

<sup>(2)</sup> Huile chauffée n° I : chauffage pendant 40 heures à 220°C, sans protection contre l'oxygène de l'air.

Huile chauffée n° II : chauffage identique avec protection contre l'oxygène de l'air (par barbotement d'azote).

Huile chauffée n° III : chauffage pendant 12 heures à 275°C, avec protection contre l'oxygène de l'air (par barbotement d'azote).

<sup>(3)</sup> Chaque animal du lot témoin reçoit la quantité de régime alignée sur la consommation moyenne du lot recevant l'huile chauffée.

Après une période d'adaptation de 5 jours, les fèces et les urines ont été recueillies pendant 30 jours consécutifs (du 6<sup>e</sup> au 35<sup>e</sup> jour).

La teneur des régimes et des excréta en calcium a été déterminée par complexométrie, au

moyen du complexon IV et en utilisant la calcéine comme indicateur (MORI, 1959). Le dosage a été effectué directement dans les urines acidifiées ; dans le cas des régimes et des fèces, il était précédé d'une déshydratation et d'une incinération à 550°C pendant 12 h.

Les régimes contenaient 0,9 p. 100 de calcium (par rapport à la matière sèche).

## RÉSULTATS

Les consommations moyennes de nourriture, exprimées en grammes de matière sèche par jour, ont atteint les valeurs suivantes :

5,8 dans les lots C<sub>1</sub> et T<sub>1</sub> ;  
 5,2 dans les lots C<sub>2</sub> et T<sub>2</sub> ;  
 5,6 dans les lots C<sub>3</sub> et T<sub>3</sub> ;  
 8,0 dans le lot T<sub>0</sub>.

Si l'on fait abstraction du lot T<sub>0</sub>, ces consommations diffèrent peu les unes des autres. Néanmoins, pour faciliter la comparaison des effets des divers modes de chauffage de l'huile sur l'excrétion fécale et urinaire du calcium, les valeurs de l'excrétion et de la rétention calciques ont été rapportées aux quantités de calcium ingérées (tabl. 2).

Dans l'ensemble, l'excrétion fécale du calcium est peu affectée par l'ingestion d'huiles chauffées. Seule l'excrétion de calcium chez le lot C<sub>3</sub> est augmentée par rapport à celle du lot témoin correspondant (différence de 15 p. 100 significative au seuil de P = 0,05). Elle est également supérieure à l'excrétion des lots C<sub>1</sub> et C<sub>2</sub> (différences de 11 et 20 p. 100, significatives respectivement aux seuils de P = 0,10 et P = 0,02).

L'absence de parallélisme entre les effets des huiles chauffées sur les pertes fécales de matière sèche et de calcium est frappante : du fait de l'abaissement général de l'utilisation digestive globale chez les animaux des lots C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> et C<sub>3</sub> (POTTEAU et CLUZAN, 1966), la teneur en calcium de la matière sèche fécale est fortement diminuée :

	Poids sec des fèces (p. 100 de la matière sèche ingérée)	Calcium (p. 100 de la matière sèche fécale)
Lot C <sub>1</sub> .....	7,8	6,3
Lot C <sub>2</sub> .....	7,3	6,3
Lot C <sub>3</sub> .....	13,6	5,3
Lot T <sub>0</sub> .....	3,7	12,5
Lot T <sub>1</sub> .....	3,5	12,6
Lot T <sub>2</sub> .....	3,8	12,1
Lot T <sub>3</sub> .....	3,7	12,3

L'excrétion urinaire du calcium est affectée fortement : dans les lots C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> et C<sub>3</sub>, elle est inférieure de 50-60 p. 100 à celle des lots témoins T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> et T<sub>3</sub>, toutes les différences étant significatives au seuil de P = 0,01.

TABLEAU 2

## Résultats expérimentaux

Lot	N° des rats	Gain de poids (g)	Ca ingéré Ca fécal $\times 100$	Ca urinaire Ca ingéré $\times 100$	Ca retenu Ca ingéré $\times 100$
C <sub>1</sub>	1	34	52,2	5,9	41,9
	2	25	48,2	7,2	44,6
	3	39	45,9	8,0	46,1
	4	8	56,3	5,3	38,4
	5	24	52,1	7,0	40,9
	6	15	49,3	3,6	47,1
	7	20	50,2	8,4	41,4
	<i>Moyennes</i>		<i>50,6</i>	<i>6,5</i>	<i>42,9</i>
C <sub>2</sub>	8	6	44,6	4,7	50,7
	9	20	48,9	3,8	47,3
	10	19	42,9	9,6	47,5
	11	7	52,2	3,3	44,5
	12	13	47,8	5,5	46,7
	13	15	46,4	8,1	45,5
	14	25	47,2	7,2	45,6
	<i>Moyennes</i>		<i>47,1</i>	<i>6,0</i>	<i>46,8</i>
C <sub>3</sub> (1)	17	1	62,2	4,4	33,4
	18	0	62,1	3,5	34,4
	19	6	47,0	3,4	49,6
	20	1	54,3	7,4	38,3
	<i>Moyennes</i>		<i>56,4</i>	<i>4,7</i>	<i>38,9</i>
T <sub>0</sub>	22	61	50,3	7,6	42,1
	23	36	48,5	9,2	42,3
	24	44	50,1	9,7	40,2
	25	33	44,4	9,5	46,1
	26	47	48,6	6,9	44,5
	27	38	44,0	8,7	47,3
	28	59	47,7	5,8	46,5
	<i>Moyennes</i>		<i>47,7</i>	<i>8,2</i>	<i>44,1</i>
T <sub>1</sub>	29	32	47,1	9,2	43,7
	30	30	48,3	11,3	40,4
	31	31	49,7	11,7	38,6
	32	34	58,0	16,7	25,3
	33	31	52,2	13,1	34,7
	34	35	35,3	9,0	55,7
	35	34	36,9	8,8	54,3
	<i>Moyennes</i>		<i>46,8</i>	<i>11,4</i>	<i>41,8</i>
T <sub>2</sub>	36	21	50,5	12,8	36,7
	37	26	41,9	15,4	42,7
	38	23	51,5	13,9	34,6
	39	21	46,2	11,9	41,9
	40	23	49,9	14,1	36,0
	41	29	41,8	14,9	43,3
	42	23	56,7	14,2	29,1
	<i>Moyennes</i>		<i>48,4</i>	<i>13,9</i>	<i>37,7</i>
T <sub>3</sub>	43	30	42,7	12,2	45,1
	44	31	52,9	10,7	36,4
	45	24	55,6	10,0	34,4
	46	33	44,4	13,6	42,0
	47	36	48,8	15,4	35,8
	48	36	40,6	9,9	49,5
	49	34	47,0	10,7	42,3
	<i>Moyennes</i>		<i>47,4</i>	<i>11,8</i>	<i>40,8</i>

(1) Les sujets 15, 16 et 21 sont morts avant la fin de l'expérience.

Toutefois, comme la perte calcique urinaire ne représente qu'une part assez réduite de la perte totale, l'effet précédent n'a que des répercussions limitées sur la *rétenion du calcium*. Celle-ci n'est augmentée que dans le lot C<sub>2</sub> (de 25 p. 100 environ, la différence C<sub>2</sub> — T<sub>2</sub> étant significative au seuil de P = 0,01). On notera que, pour le lot C<sub>3</sub>, la diminution de l'excrétion calcique urinaire compense l'augmentation de l'excrétion fécale.

## DISCUSSION

a) L'absence de parallélisme entre les effets de l'ingestion d'huile de lin chauffée sur la résorption de la matière sèche et sur celle du calcium paraît difficile à concilier avec les observations de SINHA *et al.* (1956) rapportées au début de ce mémoire. En effet, dans la première partie de cette étude (POTTEAU et CLUZAN, 1966), on a vu que la forte augmentation de la masse des féces chez les animaux qui reçoivent de l'huile chauffée n'est pas due à l'élimination d'un surplus d'azote. Cette augmentation s'explique donc vraisemblablement par l'élimination d'une partie de la fraction lipidique de la ration : il est d'ailleurs connu qu'un chauffage sévère des graisses entraîne la formation de polymères non absorbables qui se retrouvent dans les féces (LASSEN, 1949; SAUNDERS *et al.*, 1956; RAULIN et PETIT, 1960; KAUNITZ, 1962; MEAD, 1962). Dans les conditions de nos expériences, il n'y a donc pas lieu d'envisager que le surplus de lipides alimentaires éliminé par les animaux soumis aux régimes à base de graisses chauffées entraîne un surplus de calcium fécal.

b) Dans l'état actuel des connaissances, il est impossible d'expliquer la diminution de la calciurie observée chez tous les animaux qui reçoivent de l'huile chauffée. On sait qu'en dehors de divers facteurs alimentaires un certain nombre de facteurs internes peuvent abaisser la perte urinaire de calcium : troubles endocriniens divers (en particulier hypofonctionnement des parathyroïdes et peut-être de la thyroïde), perturbations de l'équilibre acido-basique, diminution de la diurèse, etc... Mais on ignore si l'ingestion de graisses chauffées peut provoquer des effets de ce genre.

Il est intéressant de signaler aussi que la valeur du rapport  $\frac{\text{Ca urinaire}}{\text{Ca ingéré}}$  est exceptionnellement élevée dans tous les lots, mais surtout dans ceux qui consomment de l'huile fraîche (1). On peut se demander si c'est le taux de lipides élevé de la ration ou spécifiquement l'huile de lin qui en est responsable. Le fait que le chauffage de l'huile abaisse l'excrétion calcique urinaire constitue un argument en faveur de la seconde hypothèse : il est possible que certains constituants de l'huile de lin accroissent l'élimination du calcium par le rein, ces constituants n'agissant plus ou agissant moins à la suite du chauffage, en raison des transformations qu'ils ont subies.

c) Il n'y a aucun ajustement entre la vitesse de croissance et la rétention calcique : la première étant diminuée alors que la seconde reste normale, la teneur en calcium des animaux qui reçoivent de l'huile chauffée tend à s'accroître par rapport

(1) Chez le jeune Rat soumis à un régime alimentaire équilibré contenant de 0,8 à 1 p. 100 de calcium, l'excrétion calcique urinaire correspond généralement à 1 ou 2 p. 100 de la quantité de calcium ingérée (CAUSERET, 1954).

à celle des témoins. Pour les 30 jours de bilans, les valeurs obtenues sont en moyenne les suivantes :

Rétention de calcium	
exprimée en p. 100 du gain de poids	
—	
Lot C <sub>1</sub> .....	3,5
Lot C <sub>2</sub> .....	5,8
Lot C <sub>3</sub> .....	environ 40 <sup>(1)</sup>
Lot T <sub>0</sub> .....	2,4
Lot T <sub>1</sub> .....	2,1
Lot T <sub>2</sub> .....	2,4
Lot T <sub>3</sub> .....	2,1

Cette absence de parallélisme entre la rétention calcique et la croissance n'est pas exceptionnelle. C'est un fait bien connu que la rétention calcique (exprimée en valeur absolue) dépend beaucoup plus de la quantité de calcium ingéré que de la rapidité du développement pondéral.

d) Il va de soi que les résultats de cette étude n'ont pas de valeur générale.

Il est possible en particulier que, suivant l'origine de l'huile utilisée et le mode de chauffage appliqué, les effets de cette huile sur l'efficacité biologique du calcium alimentaire soient différents.

*Reçu pour publication en janvier 1966.*

## SUMMARY

### NUTRITIONAL AND TOXICOLOGICAL EFFECTS OF INGESTING HEATED LINSEED OIL. 2. EFFECT ON BIOLOGICAL VALUE OF CALCIUM IN THE DIET

Three groups of 7 young male rats were given a diet with 20 p. 100 linseed oil which had been heated in one of three ways :

For 40 hours at 220°C without protection from the oxygen of the air (group C<sub>1</sub>) ;

For 40 hours at 220°C with oxygen excluded (group C<sub>2</sub>) ;

For 12 hours at 275°C with oxygen excluded (group C<sub>3</sub>).

At the same time 3 similar groups, T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> and T<sub>3</sub>, were given a diet with 20 p. 100 linseed oil which had not been heated, in the same amounts as eaten by groups C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> and C<sub>3</sub>, respectively, (table 1). Amounts of calcium excreted in urine and faeces were estimated during a period of 30 days (table 2).

Excretion of calcium in faeces was little affected by ingestion of heated oil, though there was a small increase in group C<sub>3</sub> compared with group T<sub>3</sub>. In urine, on the other hand, there was a marked effect ; the calcium excretion was 50 to 60 p. 100 less in groups C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> and C<sub>3</sub> than in groups T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> and T<sub>3</sub>, and all differences were highly significant. However, since in rats excretion of calcium in urine represents only a small proportion of total calcium excreted there was little effect on retention of calcium. The theoretical interpretation of the results is discussed.

(1) Sans tenir compte du rat n° 18, dont le gain de poids est nul mais dont la rétention calcique est voisine de celle des autres sujets du même lot.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BEADLES J. R., MITCHELL H. II., HAMILTON T. S., 1951. The utilization of dietary calcium by growing rats fed diets containing lard or cocoa butter. *J. Nutr.*, **45**, 399-405.
- BOSWORTH A. W., BOWDITCH H. I., GIBLIN L. A., 1918. *Am. J. Dis. Children*, **15**, 397-407. Cités par DEUEL H. J., 1957. *The lipids : their chemistry and biochemistry*, vol. 3, 877, Interscience Publ., New York.
- BOYD O. F., CRUMM C. L., LYMAN J. F., 1932. The absorption of calcium soaps and the relation of dietary fat to calcium utilization in the white rat. *J. biol. chem.*, **95**, 29-41.
- CALVERLEY C. E., KENNEDY C., 1949. The effect of fat on calcium and phosphorus metabolism in normal growing rats under a normal dietary regime. *J. Nutr.*, **38**, 165-175.
- CAUSERET J., 1954. 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. Zootech.*, **3**, 271.
- KAUNITZ H., 1962. Biological effects of autoxidized lipids. In SCHULTZ H. W., DAY E. A., SINNHUBER R. O. *Symposium on Foods : Lipids and their oxidation*, 269-293, The Avi Publ. Co, Westport (Conn.).
- LASSEN S., BACON E. K., DUNN H. J., 1949. The digestibility of polymerized oils. *Arch. Biochem.*, **23**, 1-7.
- MEAD J. F., 1962. Digestion and absorption of autoxidized lipids. In SCHULTZ H. W., DAY E. A., SINNHUBER R. O. *Symposium on Foods : Lipids and their oxidation*, 360-366, The Avi Publ. Co, Westport (Conn.).
- POTTEAU B., CLUZAN R., 1966. Incidences nutritionnelles et toxicologiques de l'ingestion d'huile de lin chauffée. I. Effets généraux et action sur l'utilisation des protéines de la ration. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, **6**, (1), 47-64.
- RAULIN J., PETIT J., 1960. Efficacité nutritionnelle des mono-, di- et trimères isolés de l'huile de lin. *Arch. Sci. physiol.*, **14**, 143-160.
- RAULIN J., RICHIR C., JACQUOT R., 1960. Répercussions nutritionnelles et pathologiques de l'usage alimentaire d'huile de poisson désodorisée par chauffage. *V<sup>e</sup> Symposium sur les substances étrangères dans les aliments*, 227-233, Académie hongroise des Sciences, Budapest.
- ROY A., 1944. The effect of thermal treatment and hydrogenation on the absorption of a few vegetable oils. *Ann. Biochem. exper. Med.*, **4**, 17-22.
- SAUNDERS D. H., KNIGHT H. B., SWERN D., KAUNITZ H., SLANETZ C. A., JOHNSON R. E., 1957. Composition of fecal lipids of rats fed diets containing polymers from autoxidized fats. *48th Meeting of Am. Oil chem. Soc.*
- SINHIA, MUKHERJEE R., SEN K. C., 1956. *Indian J. Physiol. and allied Sci.*, **10**, 76-81. Cités par CUSTOT F. Toxicité des graisses chauffées : le problème des huiles de friture, 1960. *Ann. Nutr. Alim.*, **13**, A-422.