

TRAITEMENT THERMIQUE ET QUALITÉ DES PROTÉINES DU SOJA

III. — INFLUENCE DES MODALITÉS DE LA CUISSON DU TOURTEAU SUR SES TENEURS EN THIAMINE, ACIDE PANTOTHÉNIQUE ET MÉTHIONINE

J. ADRIAN

*Centre de Recherches sur la Nutrition, 92 - Bellevue
Centre national de la Recherche scientifique*

RÉSUMÉ

Au cours de la cuisson du soja, la thiamine est fortement endommagée et disparaît même totalement dans les traitements les plus drastiques, la forme libre se révélant légèrement plus fragile que la thiamine présente à l'état combiné.

L'acide pantothénique accuse des pertes modérées mais — d'une manière assez approximative — on peut estimer que la destruction de la thiamine combinée est 5 fois plus intense que celle de l'acide pantothénique libre et celle de la thiamine libre 6 fois plus forte.

La perte de vitamine B₁ est nettement accrue par l'hydratation du milieu tandis que l'humidité paraît protéger l'acide pantothénique à basse température (100°C) et accélérer sa destruction à des températures plus élevées.

La méthionine n'est jamais détruite à un taux significatif au cours des modalités thermiques étudiées.

INTRODUCTION

Classiquement, la disparition de l'uréase dans les tourteaux de soja est interprétée comme l'indice d'une cuisson satisfaisante, conférant au produit son efficacité protidique maximale.

L'étude du comportement d'autres métabolites thermolabiles pourrait fournir un double intérêt :

— les pertes enregistrées constitueraient un indice supplémentaire de l'intensité de la cuisson et — associées à la recherche de l'uréase — elles apporteraient des renseignements sur les modalités du traitement thermique ;

— les pertes de nutriments pourraient, par ailleurs, faire ressortir les limites

maximales de la cuisson à partir desquelles le gain obtenu en matière d'efficacité protidique est, en quelque sorte, annulé par la destruction de métabolites intéressants : vitamines thermolabiles, disparition d'acides aminés à la suite d'une réaction de Maillard, etc.

Pour prendre l'exemple d'une autre graine de légumineuse bien étudiée, on sait que le grillage de l'arachide s'accompagne d'une destruction à peu près totale de la thiamine, d'une perte appréciable d'acide pantothénique tandis que les acides aminés se révèlent beaucoup plus stables. La lysine ne disparaît — brutalement — que dans des techniques très sévères dépassant de beaucoup les modalités thermiques utilisées classiquement dans les industries alimentaires (ADRIAN et FRANGNE, 1969 ; ADRIAN et JACQUOT, 1968).

La cuisson du soja doit se traduire par des pertes de nutriments plus ou moins comparables à celles enregistrées au cours des traitements subis par l'arachide. Il est même possible de prévoir une destruction plus intense de la thiamine, étant donné que le procédé fait appel à un milieu hydraté et que la fragilité de la vitamine B₁ est proportionnelle à la teneur en eau du milieu.

Nous rechercherons donc les facteurs responsables d'une éventuelle destruction de la thiamine, de l'acide pantothénique ou de la méthionine pendant la cuisson du soja.

MODALITÉS TECHNIQUES

Nature des échantillons

Nous disposons de deux séries d'échantillons de tourteaux de soja préparés dans des conditions parfaitement contrôlées et décrites par ailleurs (ZELTER et DELORT-LAVAL, 1971). Nous nous contenterons de rappeler ici les grandes lignes de ces technologies :

— dans une première série (série SP), la graine délipidée subit d'abord un pré-chauffage d'une durée constante de 55 minutes pour la porter à la température voulue, celle-ci variant de 100°C à 140°C. Ensuite la cuisson proprement dite se poursuit pendant des durées s'échelonnant entre 10 minutes et 80 minutes.

L'ensemble de ce traitement se pratique à 3 degrés d'hydratation : 0 p. 100, 12 p. 100 et 20 p. 100.

Les prélèvements commencent à partir de la cuisson *sensu stricto* : ils correspondent donc à l'intervalle 65 minutes-135 minutes du traitement thermique général.

— Dans une seconde série (série MT) le pré-chauffage se poursuit également pendant 55 minutes et la cuisson pendant 40 minutes au plus ; celle-ci se pratique à des températures allant également entre 100°C et 140°C et à un degré d'hydratation uniforme de 20 p. 100.

Dans ce cas les prélèvements débutent dès le pré-chauffage et correspondent donc à un intervalle compris entre 0 minute et 95 minutes de traitement thermique.

Méthodes analytiques

La thiamine est dosée microbiologiquement à l'aide de *Lactobacillus fermentum*, selon la technique de SARRETT et CHELDELIN (1944, 1945). La fraction libre est mesurée directement dans un extrait aqueux traité à pH 6,5 pendant 5 minutes à 100°C, puis filtré. La vitamine B₁ totale est déterminée, après un même traitement rapide à 100°C, puis une digestion pendant une nuit à 37°C à l'aide d'un mélange de takadiastase et de papaïne.

La fraction libre de l'acide pantothénique est dosée microbiologiquement en utilisant *Lactobacillus arabinosus* (SKEGGS et WRIGHT, 1944). L'échantillon est traité en solution aqueuse neutre pendant 5 minutes à 100°C puis filtré.

Les modalités exactes de ces techniques ont été décrites antérieurement (ADRIAN, 1959 a).

La méthionine est également mesurée microbiologiquement en faisant appel à *Leuconostoc mesenteroides*. Afin d'assurer à cet acide aminé une stabilité correcte au cours de l'hydrolyse, celle-ci est conduite en milieu chlorhydrique 2 N pendant 10 heures à 120°C (ADRIAN, 1967).

RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

Nous présentons les résultats des deux séries d'échantillons de façon séparée, chaque groupe d'échantillons formant à lui seul une entité difficilement comparable à l'autre.

Analyse des échantillons de la série ST

L'étude de ces échantillons permet de mettre en évidence l'importance de trois facteurs (intensité et durée du chauffage, hydratation du milieu) sur le comportement de la thiamine, acide pantothénique et méthionine.

a) *Influence de la température de cuisson.*

Le tableau I rapporte l'évolution des composants lorsque la cuisson du soja est conduite à 100°C ou 140°C, toutes choses égales par ailleurs.

TABLEAU I

Influence de la température de cuisson sur la teneur en thiamine, acide pantothénique et méthionine des échantillons de la série ST

	Intensité du chauffage	Durée du chauffage, en minutes			
		65	75	95	135
Thiamine libre (mg %)	100°C	0,28	0,24	0,12	0,09
	140°C	Traces	0	0	0
	Modifications dues à l'intensité du chauffage	--- 100 %	--- 100 %	--- 100 %	--- 100 %
Thiamine combinée (mg %)	100°C	0,595	0,45	0,30	0,105
	140°C	Traces	0	0	0
	Modifications dues à l'intensité du chauffage	--- 100 %	--- 100 %	--- 100 %	--- 100 %
Acide pantothénique libre (mg %)	100°C	0,555	0,495	0,49	0,415
	140°C	0,15	0,14	0,035	0,01
	Modifications dues à l'intensité du chauffage	--- 73 %	--- 72 %	--- 94 %	--- 98 %
Méthionine totale (g %)	100°C	0,56	0,52	0,54	0,51
	140°C	0,55	0,54	0,53	0,54
	Modifications dues à l'intensité du chauffage	--- 2 %	+ 4 %	--- 2 %	+ 6 %

Ces premiers résultats confirment, s'il en était besoin, les différences de stabilité thermique des trois métabolites étudiés : la thiamine est extrêmement thermolabile, l'acide pantothénique l'est déjà moins et un acide aminé, comme la méthionine, se révèle remarquablement stable en comparaison avec les deux vitamines précédentes.

Le fait de traiter le soja à 140°C au lieu de 100°C entraîne une destruction totale de la thiamine, libre ou combinée, et une disparition des 3/4 de l'acide pantothénique.

Si on ne tient compte que de la série chauffée à 100°C, la stabilité de la vitamine B₁ paraît légèrement meilleure pour les formes combinées que pour la thiamine libre : celle-ci représente respectivement 48 p. 100, 47 p. 100, 40 p. 100 et 90 p. 100 de la thiamine combinée pour les 4 durées progressives de chauffage.

Dans les échantillons traités en présence de 20 p. 100 d'eau, la méthionine se retrouve intégralement après un chauffage à 100°C ou 140°C, indiquant par là que ces conditions thermiques ne se prêtent pas à une réaction de Maillard dans laquelle entre la méthionine. On doit ajouter que cet acide aminé est souvent assez peu réactif dans ce genre de réaction et que la nature des glucides présents dans les graines de légumineuses ne provoquent pas une forte réactivité avec les acides aminés.

b) *Influence de la durée de la cuisson.*

Le tableau 2 compare les résultats des cuissons à diverses températures se poursuivant pendant 65 ou 135 minutes, soit 55 minutes de pré-chauffage pour amener l'échantillon à la température désirée suivie d'une cuisson proprement dite de 10 ou 80 minutes.

TABEAU 2

Influence de la durée de cuisson sur la teneur en thiamine, acide pantothénique et méthionine des échantillons de la série ST

	Durée du chauffage	Intensité du chauffage, en °C				
		100	110	120	130	140
Thiamine libre (mg %)	65 mn	0,28	0,15	0,065	0,015	Traces
	135 mn	0,09	0,01	0	0	0
	Modifications dues à la durée du chauffage	— 68 %	— 94 %	— 100 %	— 100 %	— 100 %
Thiamine combinée (mg %)	65 mn	0,495	0,175	0,085	0	0
	135 mn	0,105	0	0	0	0
	Modifications dues à la durée du chauffage	— 79 %	— 100 %	— 100 %		
Acide pantothénique libre (mg %)	65 mn	0,555	0,365	0,275	0,19	0,15
	135 mn	0,415	0,235	0,15	0,06	0,01
	Modifications dues à la durée du chauffage	— 25 %	— 36 %	— 45 %	— 69 %	— 94 %
Méthionine totale (g %)	65 mn	0,56	0,54	0,54	0,53	0,54
	135 mn	0,51	0,50	0,51	0,55	0,54
	Modifications dues à la durée du chauffage	— 9 %	— 8 %	— 6 %	+ 4 %	0

Comme il était possible de s'y attendre, un allongement de la durée du chauffage provoque à peu près les mêmes répercussions qu'une élévation de la température de cuisson : forte destruction de la thiamine, perte modérée d'acide pantothénique et stabilité de la méthionine.

Dans cette série apparaît nettement le mécanisme de destruction des vitamines : l'intensité et la durée du chauffage agissent conjointement pour accroître la perte en thiamine et acide pantothénique. Pour ce dernier, l'allongement de la durée de la cuisson (de 65 à 135 minutes) n'accroît pas d'une quantité constante la perte enregistrée dans la série la moins chauffée ; la perte supplémentaire passe de 25 à 94 p. 100 parallèlement à l'intensité du chauffage.

En ce qui concerne la méthionine, les faibles variations observées ne peuvent être considérées comme significatives.

c) *Influence de l'hydratation au cours de la cuisson.*

Tous les échantillons étudiés jusqu'à maintenant ont été cuits en milieu humide, en présence de 20 p. 100 d'eau. C'est une condition essentielle pour assurer au soja sa valeur protidique maximale, mais l'hydratation modifie-t-elle les conséquences du traitement thermique dans le domaine vitaminique?

TABLEAU 3

Influence de l'hydratation du milieu sur la teneur en thiamine, acide pantothénique et méthionine des échantillons de la série ST

	Eau ajoutée rapportée à la MS du milieu	Modalités thermiques du traitement			
		100°C-95 mn	100°C-135mn	110°C-135mn	130°C-135mn
Thiamine libre (mg %)	0 %	0,43	0,385	0,215	0,03
	20 %	0,42	0,09	0,01	0
	Modifications dues à l'hydratation	— 72 %	— 77 %	— 95 %	
Thiamine combinée (mg %)	0 %	0,33	0,295	0,115	0,01
	20 %	0,30	0,105	0	0
	Modifications dues à l'hydratation	— 10 %	— 65 %		
Acide pantothénique libre (mg %)	0 %	0,32	0,32	0,29	0,085
	20 %	0,49	0,415	0,235	0,06
	Modifications dues à l'hydratation	+ 33 %	+ 30 %	— 19 %	— 30 %
Méthionine totale (g %)	0 %	0,53	0,50	0,54	0,55
	20 %	0,54	0,51	0,50	0,55
	Modifications dues à l'hydratation	+ 2 %	+ 2 %	— 7 %	0

Pour répondre à cette question, nous comparons dans le tableau 3 différents chauffages effectués dans des conditions identiques exception faite que dans une série la graine a été traitée telle que et dans l'autre après ajustement de l'humidité à 20 p. 100 de la matière sèche du tourteau. Incontestablement, lors d'un traitement thermique la fragilité de la vitamine B₁ est proportionnelle à l'hydratation du milieu. Une observation de ce genre avait été faite à propos de la conservation de poudre d'œuf, dans laquelle la thiamine est d'autant plus stable que l'humidité y est à un taux plus bas (ADRIAN, 1959 b).

Dans cette série d'analyses la forme libre de la thiamine paraît plus fragile que la vitamine à l'état combiné : pour les deux premières modalités thermiques, la perte moyenne de la thiamine libre en milieu hydraté est de 75 p. 100 tandis que les formes combinées n'accusent une destruction que de 37 p. 100.

A la condition que la température ne dépasse pas 100°C, l'humidité protège l'acide pantothénique — à l'inverse de ce qui se passe avec la vitamine B₁. A des températures supérieures, les milieux hydratés paraissent préjudiciables à l'acide pantothénique. Sans que l'on puisse fournir une explication valable de ces observations, on peut en déduire que l'action ambivalente de l'hydratation sur ce facteur est à rattacher à l'état physique de l'eau : sous forme liquide elle exercerait une action protectrice et, à l'état de vapeur, elle endommagerait l'acide pantothénique.

Que le traitement ait lieu ou non en présence d'une addition d'eau, la méthionine totale demeure à un taux constant.

Le fait principal qui se dégage de ces analyses est que la quantité de chaleur (durée et intensité du traitement) supportée par les facteurs vitaminiques thermolabiles ne suffit pas à établir des prévisions de comportement, puisqu'un facteur tel que l'hydratation peut modifier très sensiblement la stabilité de la thiamine et de l'acide pantothénique.

Sur un plan pratique, les cuissons de soja se faisant classiquement dans une atmosphère humide, les tourteaux cuits auront toutes chances d'être très pauvres en thiamine.

Analyse des échantillons de la série MT

Étant donné les résultats déjà acquis, nous avons étudié dans cette série seulement le comportement de la thiamine et de l'acide pantothénique, négligeant le problème de la méthionine qui est toujours apparue stable.

Dans cette seconde série, il est permis de mesurer les effets du traitement thermique dès son commencement, c'est-à-dire à partir du début du pré-chauffage, tandis que précédemment les observations n'avaient porté que sur la période de la cuisson proprement dite.

Parmi les résultats obtenus nous n'avons conservé que ceux permettant une illustration claire de l'évolution des facteurs thermolabiles et nous les présentons graphiquement dans les figures 1 et 2.

La première rapporte l'évolution de la thiamine totale à partir du moment où la graine est introduite dans le cuiseur, en fonction de la durée du chauffage et de l'intensité du traitement. Des chauffages de 10 minutes sont toujours insuffisants pour provoquer une perte de vitamine B₁ vraisemblablement, car pendant un laps de temps si court la chaleur n'a pas pu pénétrer suffisamment dans la masse du tourteau.

A partir des traitements durant 20 minutes, la destruction de la thiamine est directement fonction de la durée et de l'intensité du traitement. Les plus sévères aboutissent inévitablement à une disparition de la vitamine B₁.

Avec les modalités utilisées dans ces essais, nous pouvons faire ressortir quelques équivalences en ce qui concerne la thermosensibilité de la vitamine B₁ :

60 mn à 110°C \simeq 20 mn à 140°C \simeq 60 p. 100 de destruction de la thiamine
 70 mn à 110°C \simeq 30 mn à 140°C \simeq 80 p. 100 de destruction de la thiamine
 95 mn à 120°C \simeq 50 mn à 140°C \simeq 100 p. 100 de destruction de la thiamine

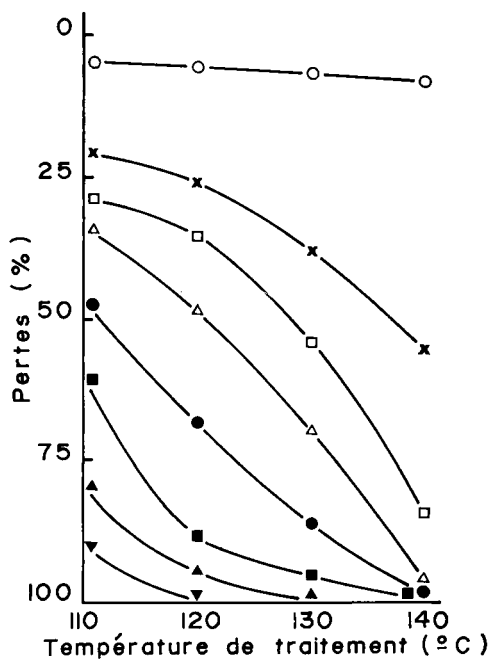


FIG. 1. — Évolution de la thiamine totale en fonction des modalités thermiques de la cuisson du soja dans les échantillons de la série M. T.

- — ○ 10 minutes
- × — × 20 —
- — □ 30 —
- △ — △ 40 —
- — ● 50 —
- — ■ 60 —
- ▲ — ▲ 70 —
- ▼ — ▼ 95 —

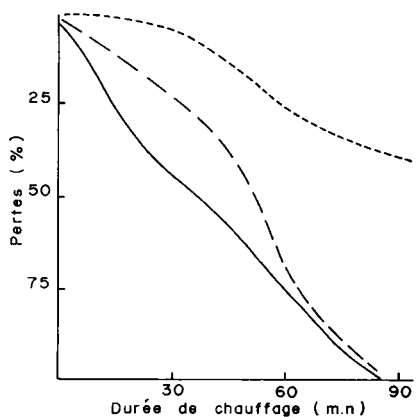


FIG. 2. — Évolution de la thiamine et de l'acide pantothénique des échantillons de soja de la série M. T. traités à 110°C

- Acide pantothénique
- · - · - Thiamine combinée
- Thiamine libre

Dans nos conditions expérimentales, lorsque la température s'élève de 30°C entre 100°C et 140°C, il suffit de 2 à 3 fois moins de temps pour obtenir une perte semblable de thiamine.

Dans la figure 2, nous n'avons retenu l'évolution de la thiamine et de l'acide pantothénique que dans les échantillons traités à 110°C, de manière à ne pas en alourdir la présentation. De cette façon les différences de thermosensibilité des deux vitamines ressortent nettement. Dans les débuts du traitement, la thiamine libre paraît beaucoup plus sensible que les formes combinées : c'est ainsi qu'après 20 minutes on enregistre une perte de vitamine libre deux fois plus importante que pour les formes liées. A ce stade de l'opération, la perte de vitamine B₁ libre est 10 fois supérieure à celle de l'acide pantothénique libre. Mais une telle proportionalité n'est pas constante au cours du traitement thermique puisqu'en fin de chauffage les taux de destruction de la thiamine libre et combinée se rejoignent.

Il est donc difficile, au total, de prétendre estimer avec précision des différences de thermosensibilité des facteurs étudiés, bien que par ordre croissant de fragilité, on puisse établir avec certitude la classification suivante : acide pantothénique libre, thiamine combinée, thiamine libre.

Sur un plan pratique, la figure 2 montre que, même chauffée seulement à 110°C, la graine de soja perd la majeure partie de sa thiamine (libre aussi bien que combinée) après 1 heure de traitement, c'est-à-dire à la fin de ce que nous appelons pré-chauffage. A ce stade là, l'acide pantothénique libre demeure à peine endommagé.

Analyse des échantillons utilisés en expérimentation animale, série C

Afin de situer les échantillons expérimentés sur animaux par rapport aux produits étudiés *in vitro*, nous donnons les teneurs vitaminiques des sojas de la série C en mg p. 100 g de tourteau :

Échantillon	Thiamine			Acide pantothénique libre
	totale	libre	combinée	
C-51	0,45	0,43	0,02	0,93
C-52	0,24	0,18	0,06	0,88
C-53	0,095	0,075	0,02	0,80
C-54	0,05	0,04	0,01	0,71
C-55	0	0	0	0,56
C-56	0	0	0	0,31

Conclusions

Même dans des traitements relativement modérés, comme ceux auxquels le soja est soumis industriellement, les facteurs thermolabiles peuvent être considérablement endommagés : la thiamine, beaucoup plus fragile que l'acide pantothénique, accuse des pertes de 25 p. 100 après 30 minutes à 110°C ou 20 minutes à 120°C.

Étant donné qu'une hydratation aggrave la fragilité de la thiamine et que le traitement du soja doit être effectué en milieu humide pour lui conférer sa meilleure

efficacité protidique, il en résulte que l'absence de thiamine constitue une présomption d'une cuisson correcte du soja ; au contraire, une certaine teneur en thiamine peut dénoter une cuisson incomplète ou insuffisante.

La cuisson entraîne aussi une perte sensible d'acide pantothénique libre ; néanmoins un tourteau de soja correctement traité doit encore renfermer une part appréciable de ce facteur puisque, pour détruire en totalité la fraction libre de l'acide pantothénique, le traitement thermique doit être poursuivi pendant environ 2 heures à plus de 120°C.

En conséquence, les dosages de vitamine B₁ et d'acide pantothénique dans les tourteaux de soja pourraient refléter le degré de cuisson de l'échantillon : le premier devrait montrer une valeur très faible ou nulle, le second une teneur presque normale dans les produits ayant subi une cuisson correcte.

Enfin, au cours des modalités expérimentales, même lors des traitements les plus sévères, on n'enregistre jamais une perte significative de méthionine, facteur-limitant des protéines du soja. Ceci signifie qu'un excès de cuisson ne devrait pas entraîner une chute de l'efficacité protidique, à la condition toutefois qu'aucune fraction de méthionine ne soit bloquée par suite des phénomènes liés aux premiers stades de la réaction de Maillard.

Reçu pour publication en décembre 1970.

SUMMARY

HEAT TREATMENT AND QUALITY OF SOYBEAN PROTEIN.

III. — INFLUENCE OF THE METHODS OF TOASTING OF SOYBEAN OIL MEAL UPON ITS THIAMINE, PANTOTHENIC ACID AND METHIONINE CONTENT

During the toasting of soybean, thiamine is considerably damaged and even completely disappears when submitted to the most drastic treatments, the free form of thiamine being a little more fragile than the combined one.

Heat treatment causes moderate losses of pantothenic acid, but it may be said approximately that the destruction of combined thiamine is 5 times more intense than that of free pantothenic acid, and that of free thiamine 6 times more intense.

The loss of vitamine B₁ is definitely increased by the hydration of the medium whereas humidity seems to protect pantothenic acid when the temperature is low (100°C) and to accelerate its destruction when the temperatures are higher.

A significant destruction of methionine never occurred during the application of these different heat treatments.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ADRIAN J., 1959 a. Le dosage microbiologique des vitamines du groupe B. *Cahier technique du C. N. E. R. N. A.*, C. N. R. S. éd., Paris.
- ADRIAN J., 1959 b. La valeur alimentaire de l'œuf. *Bull. Soc. Scient. Hyg. alim.*, **47**, 235-58.
- ADRIAN J., 1967. La réaction de Maillard. IV. Étude du comportement de quelques acides aminés au cours du grillage d'aliments protidiques. *Ann. Nutr. Aliment*, **21**, 129-47.
- ADRIAN J., FRANGNE R., 1969. Intérêt nutritionnel de biscuits enrichis avec de la lysine pure ou des compléments azotés variés : arachide, poisson ou lait. *Ind. agric. Aliment.*, **86**, 801-6.

- ADRIAN J., JACQUOT R., 1968. *Valeur alimentaire de l'arachide et de ses dérivés*. Maisonneuve et Larose, éd., Paris.
- SARRETT H. P., CHELDELIN V. H., 1944. The use of *Lactobacillus fermentum* 36 for thiamine assay. *J. Biol. Chem.*, **155**, 153-60.
- SARRETT H. P., CHELDELIN V. H., 1945. Thiamine, riboflavine and nicotinic acid retention in preparation of overseas hams and bacons. *J. Nutr.*, **30**, 25-30.
- SKEGGS H. R., WRIGHT L. D., 1944. The use of *Lactobacillus arabinosus* in the microbiological determination of pantothenic acid. *J. Biol. Chem.*, **156**, 21-6.
- ZELTER S. Z., DELORT-LAVAL J., 1971. Traitement thermique et qualité des protéines du soja. II. *Ann. Zootech.*, **20**, 17-29.
-