

TRAITEMENT THERMIQUE ET QUALITÉ DES PROTÉINES DU SOJA

I. — POSITION DU PROBLÈME ET INTRODUCTION A UNE ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

S.-Z. ZELTER

*Laboratoire de Recherches sur la Conservation et l'Efficacité des Aliments,
Centre national de Recherches zootechniques, I. N.R.A.
78 - Jouy-en-Josas*

De tous les tourteaux utilisables en alimentation animale, celui de soja occupe une situation privilégiée en raison de sa grande richesse en protéines et de la qualité remarquable de leur composition. Sa teneur en lysine (voisine de 6 g/16 g N) est la plus élevée parmi celles des protéines végétales et son équilibre amino-acide, acides aminés soufrés exceptés, fait du Soja la source par excellence de la complémentation azotée des céréales.

Cela explique la très forte consommation mondiale de tourteau de soja. Sur 8 millions de tonnes de tourteaux utilisées en 1966 pour l'alimentation animale dans les pays du Marché commun, 4 millions étaient du soja. En France, sa consommation a doublé entre 1962 (410 000 T) et 1969 (830 000 T) ; elle représente actuellement 50 p. 100 du tonnage total de tourteaux employés. A la fin de 1969, moins de 5 p. 100 du soja consommé provenaient d'une trituration locale de graine, la quasi-totalité étant importée, soit directement, soit indirectement, des États-Unis. En 1966, la valeur de cette importation équivalait au triple de celle des produits agricoles français exportés vers ce même pays, et à 10 p. 100 de la valeur commerciale totale des aliments composés fabriqués en France. Cette importation, occasionnant une sortie considérable de devises, pose un véritable problème d'économie nationale, qui ne pourrait être résolu qu'en partie par une forte réduction des importations. L'amélioration de la qualité courante des tourteaux de soja fabriqués pourrait y contribuer dans une mesure non négligeable, car elle devrait, en toute logique, en diminuer le besoin quantitatif.

La composition d'une protéine en acides aminés est effectivement un facteur primordial d'efficacité nutritionnelle. Mais celle-ci n'atteint sa valeur maximale que si sa digestion et la disponibilité biologique de ses acides aminés sont aussi grandes que possible. Sa qualité doit par conséquent faire l'objet d'un examen attentif. De fait, aucun tourteau alimentaire n'a donné lieu à des recherches aussi poussées que le soja.

Il est effectivement connu que le soja cru est inapte à assurer une croissance satisfaisante de l'animal et qu'il occasionne de sérieux troubles physiologiques. Ces défauts sont mis au compte de la présence dans la graine crue de divers facteurs antinutritionnels thermolabiles plus ou moins nettement caractérisés (inhibiteurs tryptiques, hémagglutinines, lipoxydases, etc.).

Parmi ceux-ci, les facteurs antitryptiques et anti α -chymotryptiques ont plus spécialement retenu l'attention (MELNICK *et al.*, 1946; BORCHERS *et al.*, 1947; BIELORAI et BONDI, 1963; GERTLER *et al.*, 1967; BIELORAI, 1969). Ils réduisent le taux et la vitesse de libération de certains acides aminés essentiels (SCHWEIGERT, 1948; ALMQUIST et MERRITT, 1951). Ils influencent en particulier la disponibilité de la méthionine (ALMQUIST *et al.*, 1942), facteur limitant primaire du soja, et réduiraient en général la protéolyse au niveau de l'intestin grêle (GORRILL et THOMAS, 1967), d'où la forte dépression de la digestibilité observée chez la volaille, le rat (NITSAN et BONDI, 1965; ZEBROWSKA, 1968), le porc (DELORT-LAVAL et BOZA-LOPEZ, 1964), le veau (GORRILL et THOMAS, 1967). Certains de ces auteurs ont noté, après une consommation de soja cru, en même temps qu'une dépression très significative de la croissance, la présence dans le contenu de l'intestin grêle d'une forte fraction de protéines solubles, précipitables à l'acide trichloracétique (TCA). L'absorption azotée à ce niveau semblerait nettement diminuée (LEPKOVSKY *et al.*, 1965). Le contenu intestinal du poulet consommant du soja cru peut contenir jusqu'à 50 p. 100 de son azote à l'état précipitable au TCA, alors qu'après chauffage du même soja, cette concentration tombe à 20-30 p. 100 (BIELORAI, 1969). Chez le rat, on trouve dans cette fraction une très forte quantité de protéines non modifiées, très peu de peptides et d'acides aminés libres (ZEBROWSKA, 1968). Cette accumulation de protéines solubilisées, mais non digérées dans l'intestin grêle d'animaux consommant du soja cru (LEPKOVSKY *et al.*, 1965; GERTLER *et al.*, 1967) pourrait résulter d'un accroissement de sécrétions azotées endogènes (LEPKOVSKY *et al.*, 1965; ZEBROWSKA, 1968). Mais SAXENA *et al.* (1963) suggèrent que cette fraction existe en raison de sa résistance à la protéolyse et non à cause d'une inhibition de la protéolyse intestinale. La réduction de la digestibilité protéique aboutirait à une hypertrophie du pancréas et à une dépression de la croissance par suite d'une carence en acides aminés essentiels nécessaires à la synthèse d'enzymes (GORRILL et THOMAS, 1967).

GERTLER *et al.* (1967) suggèrent deux mécanismes possibles d'inhibition de la croissance par le soja cru :

a) l'inhibiteur (ou les inhibiteurs) tryptique stimule l'hypertrophie pancréatique et la synthèse d'enzymes protéolytiques, ce qui augmente les besoins en acides aminés et la perte azotée endogène. De surcroît, il inhibe directement la protéolyse dans l'intestin grêle, avant que ne soit achevé l'accroissement de la synthèse et de la sécrétion d'enzymes pancréatiques.

b) Le soja cru renferme une fraction protéique qui ne devient digestible qu'après chauffage. La présence d'une telle fraction ne doit pas être exclue, même si celle d'un facteur spécifique dépressif de la croissance est prouvée. L'existence dans le soja cru d'une fraction protéique indisponible, que la cuisson rendrait disponible, est avancée surtout par LEPKOVSKY *et al.* (1965). Elle expliquerait déjà en soi l'action bénéfique du traitement thermique sur la valeur nutritive du soja, confirmée par d'innombrables travaux.

Mais les effets thermiques sur les protéines du soja peuvent être opposés. Ils ont été plus spécialement analysés par LIENER (1958). Une application ménagée de chaleur permet sans aucun doute une augmentation considérable de l'efficacité nutritive du soja (HAYWARD *et al.*, 1936). Une cuisson à sec ou de trop courte durée est très peu efficace : l'amélioration obtenue est insuffisante. Un chauffage excessif entraîne un abaissement de la digestibilité, une destruction partielle d'acides aminés et (ou) une formation de mélanoides réfractaires à l'hydrolyse enzymatique, d'où une réduction notable de la disponibilité de certains acides aminés essentiels, tels la lysine (RIESEN *et al.*, 1947) et la cystine (EVANS et BUTTS, 1948). La méthionine serait par contre, relativement thermostable.

Il existerait par conséquent une sorte de « plage » thermique, d'ailleurs assez imprécise, qui conférerait aux protéines du soja leur efficacité biologique maximale. La variation d'un quelconque de ses paramètres conduirait à des résultats inverses : en deçà, l'inactivation des substances antinutritionnelles resterait incomplète ; au-delà, les protéines encourraient le risque d'une sévère dénaturation. Dans les deux cas, le produit final serait de qualité médiocre, son utilisation métabolique se trouvant sérieusement compromise.

Le traitement idéal serait bien évidemment celui qui inactiverait intégralement les facteurs antinutritionnels tout en sauvegardant intactes les protéines du soja. Or, la grande hétérogénéité qualitative du tourteau de soja fabriqué prouve que l'on est loin de maîtriser sa technologie.

Quel pourrait donc être le traitement thermique idéal ? L'application de températures élevées pendant des laps de temps très courts serait-elle préférable à celle de températures basses durant des temps plus longs ? La revue de LIENER (1958) montre combien les avis divergent sur ce point.

Un autre problème important, qui n'a pas encore reçu de solution satisfaisante, est le contrôle de la conduite et de l'intensité du traitement thermique. La cuisson du soja étant une opération particulièrement délicate, le fabricant et l'utilisateur éprouvent un besoin impérieux d'être renseignés rapidement et valablement sur la qualité du produit manufacturé. Aussi le contrôle de l'intensité du traitement thermique par des tests physico-chimiques simples offre-t-il un intérêt majeur.

Bon nombre de chercheurs se sont attachés à mettre au point de tels tests. Mais la validité de la plupart de ceux-ci n'étant pas corroborée par la réponse biologique *in vivo*, leur signification nutritionnelle est soit contestable, soit limitée.

Certes, la mesure de l'activité uréasique est sûre, lorsqu'il s'agit de diagnostiquer une cuisson insuffisante. Mais il n'existe pas de test *in vitro* permettant de détecter valablement la surcuisson ou même une cuisson satisfaisante. En effet, lorsque l'activité uréasique est nulle, le résultat de la mesure est ininterprétable, car en ce cas il pourrait s'agir d'un produit :

a) insuffisamment cuit, dont l'activité uréasique aurait disparu par vieillissement au cours du stockage ;

b) ayant subi un traitement thermique qui a détruit complètement l'uréase, mais insuffisant pour inactiver intégralement tous les facteurs antinutritionnels, plus spécialement les inhibiteurs tryptiques, dont la thermolabilité est plus faible que celle de l'uréase. Dans certaines conditions technologiques donc, un soja à activité uréasique nulle pourrait encore posséder une potentialité antitryptique fort appr-

cialable, de l'ordre de 45 p. 100 selon BORCHERS *et al.* (1947). Le test uréasique ne peut donc informer valablement sur l'intensité du traitement thermique, au-delà du seuil de destruction de cette enzyme ;

c) ayant subi un traitement thermique excessif qui a dénaturé plus ou moins sévèrement les protéines, donc altéré sensiblement leur efficacité nutritionnelle.

Il a effectivement été montré que, ni le test uréasique, ni la lysine disponible, selon CARPENTER (1960), ni la méthionine totale ou libre ne présentent de corrélations significatives avec la réponse de croissance du poulet (ASCARELLI et GESTETNER, 1962) ; de même l'épreuve à l'orangé G (MORAN *et al.*, 1963) procure des valeurs incohérentes et sans rapport avec l'intensité du traitement thermique (ZELTER, 1964 a). Aucun de ces tests ne permet de différencier d'une façon satisfaisante des produits en fonction de leur degré de chauffage. La sensibilité de l'épreuve au rouge de crésol (FRÖLICH, 1954) pour détecter une surcuisson est également mise en doute.

Cette insuffisance s'explique vraisemblablement par le fait que la quasi-totalité des tests *in vitro* a été élaborée soit à partir d'échantillons préparés en laboratoire par des procédés (autoclave ou étuve) fort éloignés de ceux appliqués industriellement, soit d'échantillons industriels du circuit commercial, dont les antécédents technologiques étaient peu ou point connus de l'expérimentateur. Les résultats obtenus dans ces conditions expérimentales ne sont guère transposables en technologie industrielle pratique (BELTER et SMITH, 1952) et il n'existe pas de tests connus fournissant dans tous les cas des données valables (RICHTER et SCHILLER, 1959).

Dans l'expérimentation par autoclavage, en particulier, il faudrait tenir compte du temps de montée en température et du temps de refroidissement. Lorsque l'on autoclave par exemple à 110°C pendant 30 minutes, l'échantillon reste en fait près de 90 minutes dans l'autoclave. Or, une durée de chauffage de quelques minutes supplémentaires à une température donnée peut faire varier sensiblement la qualité finale du tourteau obtenu. Rares, semble-t-il, sont les auteurs qui aient considéré cet aspect délicat. Cela peut expliquer les divergences relevées dans la littérature, l'hétérogénéité des valeurs avancées et leur interprétation contradictoire.

L'origine de la graine, les conditions de son stockage, son conditionnement en vue de la délipidation constituent également des facteurs susceptibles de modifier le résultat final d'un traitement thermique appliqué au soja.

En somme, s'il est bien établi que la chaleur sèche est inopérante pour supprimer les actions inhibitrices du soja cru et que la chaleur humide est bien plus efficace, on ignore encore :

— quelles combinaisons précises de paramètres de température, de durée et d'humidité pourraient conférer aux protéines du soja leur valeur nutritionnelle maximale ;

— quels tests de laboratoire *in vitro* permettraient de contrôler efficacement la conduite du traitement thermique, de renseigner valablement sur la qualité finale du produit, et plus spécialement de détecter à coup sûr la surcuisson.

Cette approche critique de la bibliographie existante (EVANS et ST JOHN, 1945 ; EVANS et MCGINNIS, 1946 ; DANGOUMAU *et al.*, 1951 ; BELTER et SMITH, 1952 ; DELORT-LAVAL et ZELTER, 1960 ; ASCARELLI et GESTETNER 1962 ; FRÖLICH, 1962 ; MORAN *et al.*, 1963 ; DELORT-LAVAL et BOZA, LOPEZ, 1964) montre l'absence de réponse satisfaisante à ces questions. Elle nous a incité à reprendre à la base l'étude

du problème et à la concevoir de façon à éviter au maximum les écueils rencontrés dans le passé par les chercheurs qui se sont préoccupés du traitement du soja.

Nous avons en particulier jugé indispensable d'expérimenter en :

- opérant avec un équipement semi-industriel reproduisant plus correctement la technologie industrielle ;
- éliminant le plus possible l'interférence de facteurs étrangers à la technologie proprement dite ;
- éprouvant la signification nutritionnelle de tests physico-chimiques connus ou nouvellement imaginés par nous-mêmes, par référence à des essais biologiques sur plusieurs espèces animales (Rat, Poussin, Porc), dont les besoins azotés spécifiques pourraient différer et dont la sensibilité à la qualité de la protéine se manifesterait, de ce fait, plus nettement.

Partant de ces principes, une étude préliminaire (ZELTER, 1964 *b*) a permis de dégager une série de combinaisons de paramètres technologiques qui procurent une gamme qualitative assez large de produits. Les plus caractéristiques de ces combinaisons ont été expérimentées *in vitro* (ADRIAN, 1971 ; ZELTER et DELORT-LAVAL, 1971) et *in vivo* sur le rat (LOUGNON et RÉRAT, 1971), le poulet (CALET et GUILLAUME, 1971 ; GUTTON et ABRAHAM, 1971) et le porc (DELORT-LAVAL et CHARLET-LÉRY, 1971).

Reçu pour publication en décembre 1970.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ADRIAN J., 1971. Traitement thermique et qualité des protéines du soja. III. *Ann. Zootech.*, **20**, 31-40.
- ALMQUIST H. J., MECCHI E., KRATZER F. H., GRAU C. R., 1942. Soybean protein as a source of amino acids for the chick. *J. Nutr.*, **24**, 385-392.
- ALMQUIST H. J., MERRITT J. B., 1951. Effect of soybean antitrypsin on experimental amino acid deficiency in the chick. *Arch. Biochem. Biophys.*, **31**, 450-453.
- ASCARELLI I., GESTETNER B., 1962. Chemical and biological evaluation of some protein feeds for poultry. *J. Sci. Food Agric.*, **8**, 401-410.
- BELTER P. A., SMITH A. K., 1952. Protein denaturation in soybean meal during processing. *J. Amer. Oil. Chem. Soc.*, **29**, 170-174.
- BIELORAI R., BONDI A., 1963. Relationship between antitryptic factors of some plant protein feeds and products of proteolysis precipitable by trichloroacetic acid. *J. Sci. Food Agric.*, **14**, 124-132.
- BIELORAI R., 1969. Comparative digestibility of groundnut and soybean meal *in vitro* and in chicks. *J. Sci. Food Agric.*, **20**, 345-348.
- BORGHES R., ACKERSON C. W., SANDSTEDT R. N., 1947. Trypsin inhibitor. III. Determination and heat destruction of the trypsin inhibitor of soybean. *Arch. Biochem.*, **12**, 369-374.
- CALET C., GUILLAUME J., 1971. Traitement thermique et qualité des protéines du soja. VI. *Ann. Zootech.*, **20**, 61-67.
- CARPENTER K. J., 1960. The estimation of the available lysine in animal protein foods. *Biochem. J.*, **77**, 604-610.
- DANGOUMAU A., DEBRUYNE H., CLUZAN R., 1951. Note sur les traitements thermiques du soja et du colza. *Bull. Inf. ITERG*, **5**, 306-310.
- DELORT-LAVAL J., ZELTER S.-Z., 1960. État actuel du problème de la qualité des tourteaux de soja et de son contrôle par des tests chimiques. *Ind. Aliment. anim.*, **110**, 25-34.
- DELORT-LAVAL J., BOZA-LOPEZ J., 1964. Efficacité de quelques protides alimentaires chez le Porc. V. Influence du traitement technologique sur la valeur des protéines du tourteau de soja. Validité de quelques tests biochimiques pour l'appréciation de la qualité des tourteaux. *Ann. Zootech.*, **13**, 35-50.
- DELORT-LAVAL J., CHARLET-LÉRY Geneviève, 1971. Traitement thermique et qualité des protéines du soja. V. *Ann. Zootech.*, **20**, 53-60.

- EVANS R. J., St JOHN J. L., 1945. Estimation of the relative nutritive value of vegetable proteins by two chemical methods. *J. Nutr.*, **30**, 209-217.
- EVANS R. J., MCGINNIS J., 1946. Influence of autoclaving soybean meal on the availability of cystine and methionine for the chicks. *J. Nutr.*, **31**, 446-461.
- EVANS R. J., BUTTS H. A., 1948. Studies on the heat inactivation of lipine in soybean oil meal. *J. Biol. Chem.*, **175**, 15-20.
- FRÖLICH A., 1954. Reaction between phtalein dyes and heated foodstuffs. *Nature*, **174**, 879.
- FRÖLICH A., 1962. Some nutritionnal effects on chick growth. *Kunigl. Lantbruks. Ann.*, **28**, 37-92.
- GERTLER A., BIRK Y., BONDI A., 1967. A comparative study of the nutritionnal and physiological significance of pure soybean trypsin inhibitor and of ethanol-extracted soybean meals in chicks and rats. *J. Nutr.*, **91**, 358-370.
- GORRILL A. D. L., THOMAS H. W., 1967. Body weight changes, pancreas size and enzymes activities and protein digestion in intestinal content from calves fed soybean and milk protein diets. *J. Nutr.*, **92**, 215-223.
- GUTTON J., ABRAHAM J., 1971. Traitement thermique et qualité des protéines du Soja. VII. *Ann. Zootech.*, **20**, 69-73.
- HAYWARD J. W., STEENBOCK H., BOHSTEDT G., 1936. The effect of heat as used in the extraction of soybean oil upon nutritive value of the protein of soybean oil meal. *J. Nutr.*, **11**, 219.
- LEPKOVSKY S., FURUTA F., KOIKE T., HASEGAWA N., DIMICK M. K., KRAUSE K., BARNES F. J., 1965. The effect of raw soybean upon the digestion of proteins, upon the function of the pancreas of intact chickens and of chickens with ileostomies. *Brit. J. Nutr.*, **19**, 41-56.
- LIENER I. E., 1958. Effect of heat on plant proteins, in ALTSCHUL A.M. : *Processed plant protein foodstuffs*, 79-129. Acad. Press, New York.
- LOUGNON J., RÉRAT A., 1971. Traitement thermique et qualité des protéines du Soja. IV. *Ann. Zootech.*, **20**, 41-52.
- MELNICK D., OSER B. L., WEISS S., 1946. Rate of enzymic digestion of proteins as a factor in nutrition. *Science, N. Y.*, **103**, 326-329.
- MORAN E. T., JENSEN L. S., MCGINNIS J., 1963. Dye binding by soybean and fishmeal as an index of quality. *J. Nutr.*, **79**, 239-244.
- NITSAN Zafira., BONDI A., 1965. Comparison of nutritionnal effects induced in chicks, rats and mice by raw soybean meal. *Brit. J. Nutr.*, **19**, 177-187.
- RICHTER V. K., SCHILLER K., 1959. Die Wirkung von Dampferhitzen (Toasten) auf die biologische Eiweisswertigkeit von Sojaschrot. *Zeit. Tierernähr. Futtermittelk.*, **14**, 241-252.
- RIESEN W. H., CLANDININ D. A., ELVEHJEM C. A., CRAVENS W. W., 1947. Liberation of essential amino acid from raw, properly heated and overheated soybean oil meals. *J. Biol. Chem.*, **167**, 143-150.
- SAXENA M. C., JENSEN L. S., MCGINNIS J., 1963. Influence of age on utilization of raw soybean meal by chickens. *J. Nutr.*, **80**, 391-396.
- SCHWEIGERT B. S., 1948. Availability of tryptophan from various products for growth of chicks. *Arch. Biochem.*, **19**, 265-272.
- ZEBROWSKA T., 1968. The course of digestion of different food proteins in the rat. Fractionation of the nitrogen in intestinal contents. *Brit. J. Nutr.*, **22**, 483-491.
- ZELTER S.-Z., 1964 a. L'estimation des effets de la cuisson des tourteaux d'oléagineux sur la qualité des protéines par des tests biochimiques. *Rev. fr. Corps Gras. N° spécial*, 168-179.
- ZELTER S.-Z., 1964 b. Étude des effets thermiques sur la valeur nutritionnelle des protéines de tourteau de soja. I. Comparaison de quelques mesures biochimiques. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, **5**, 189-198.
- ZELTER S.-Z., DELORT-LAVAL J., 1971. Traitement thermique et qualité des protéines du soja. II. *Ann. Zootech.*, **20**, 17-29.