

UTILISATIONS ACTUELLES ET POTENTIELLES DES PROTEINES DE BLANC D'OEUF DE POULE.

Awadé A.C.^{1*}, Guérin-Dubiard Catherine.², Nau Françoise.², Thapon, J.L.²

¹INRA, Laboratoire de Recherche et de Technologie Laitière, 65 rue de St.-Brieuc, 35042 Rennes Cedex France.

²ENSAR, Laboratoire de Technologie Alimentaire, UA INRA, 65 rue de St.-Brieuc, 35042 Rennes Cedex France.

Résumé

La valorisation des composants de l'oeuf, plus particulièrement des protéines, est une voie nécessaire au développement de l'industrie des ovoproduits. Le blanc d'oeuf renferme des protéines dont l'intérêt a été prouvé en industrie agro-alimentaire et pharmaceutique (lysozyme) ou dans les laboratoires de recherche et pour le diagnostic médical (avidine). D'autres protéines telles que l'ovotransferrine et l'ovomucine présentent un intérêt potentiel pour ces mêmes secteurs, tandis que l'ovalbumine pourrait trouver des applications en nutrition humaine.

Introduction

Pour pallier la stagnation de la production des oeufs dans les pays industrialisés, une valorisation des composants de l'oeuf et plus particulièrement des protéines du blanc d'oeuf semble être une piste prometteuse.

Le blanc d'oeuf de poule est une source naturellement riche en protéines présentant un intérêt prouvé ou potentiel en industrie agro-alimentaire et pharmaceutique ou dans les laboratoires de recherche.

Le blanc d'oeuf, également appelé albumen, est composé d'environ 9,7% à 10,6% de protéines, 0,03% de lipides, 0,4 à 0,9% de sucres et 0,05% de cendres, le tout en solution dans l'eau (Powrie et Nakai, 1986). Le Tableau I résume les principales propriétés physico-chimiques et fonctionnelles des protéines majeures du blanc d'oeuf de poule.

Dans la synthèse qui sera présentée, nous parlerons, après une présentation des protéines, des utilisations effectives et potentielles de certaines d'entre elles.

Le lysozyme (Proctor et Cunningham, 1988; Cunningham et al., 1991; Y. Dacosta, 1993)

Le lysozyme (Tableau I) est la protéine du blanc d'oeuf qui, à l'heure actuelle, est de loin la plus valorisée. Il s'agit d'une protéine qui a été découverte en 1922 par Alexander Fleming. Ce dernier s'était aperçu, à l'occasion d'un rhume, que son mucus nasal était capable de détruire des bactéries qui s'étaient développées sur plaque d'agar. Il trouva que cette lyse bactérienne était liée à la présence dans le mucus d'une enzyme qu'il nomma lysozyme.

Le lysozyme est une enzyme très répandue dans la nature. On le trouve chez l'homme dans la salive, les larmes, le sang, l'urine, le lait. On peut également le trouver dans le lait de vache, dans le blanc d'oeuf de nombreuses espèces d'oiseaux et chez les végétaux (Tableau II). On le rencontre aussi chez certaines bactéries ou chez certains virus. Les larmes humaines constituent la source la plus riche actuellement connue (7 g/l); cependant, pour des raisons d'approvisionnement, la source la plus utilisée pour la purification et l'obtention de quantités importantes de lysozyme est le blanc d'oeuf de poule qui en renferme une quantité non négligeable (3 à 5g/l). Plusieurs méthodes d'extraction ont été mises au point, notamment par précipitation à pH alcalin en présence de NaCl (Alderton et Fevold, 1946), par chromatographie d'échange d'ions (Li-Chan et al., 1986; Guérin et Brulé, 1992; Vachier et al., 1994), par chromatographie d'affinité (Imoto et Yagishita, 1973) ou par ultrafiltration (Peri et Ferscini, 1972; S.P.A., 1977). Le lysozyme est aujourd'hui en France la seule protéine du blanc d'oeuf à être extraite à une échelle industrielle.

Le lysozyme est actuellement décrit comme étant une N-acétyl hexosaminidase et est classé comme une muramidase (EC 3.2.1.17). Cette protéine doit son nom au fait qu'elle est capable de lyser les parois bactériennes. La lyse se fait par l'hydrolyse des liaisons β (1,4) entre l'acide N-acétylmuramique et la N-acétylglucosamine qui sont les constituants du peptidoglycane, une molécule complexe présente dans la paroi externe de plusieurs bactéries.

L'action bactéricide du lysozyme est importante sur les bactéries gram-positives (gram +), mais l'est nettement moins sur les bactéries gram-négatives (gram -). Cette différence s'expliquerait par la nature de la membrane cellulaire des deux types de germes: les bactéries gram+ ont des parois simples, composées en général de peptidoglycane (30 à 95%) tandis que les bactéries gram- en contiennent nettement moins (5 à 20%) et sont protégées par des lipopolysaccharides dont la résistance est parfois renforcée par du calcium.

L'utilisation du lysozyme par l'industrie agro-alimentaire se limite en France à la fromagerie (Dacosta, 1993). En effet, le lysozyme est utilisé pour limiter la prolifération des bactéries butyriques dans les fromages. Cette utilisation est autorisée en France (J.O. du 1er Octobre 1989) dans la fabrication de fromages à pâte pressée cuite et non cuite, (hormis AOC et label agricole), dans la fabrication de fromages à pâte molle (hormis AOC et label agricole) sauf ceux à pâte persillée et dans la fabrication de fromages fondus.

L'utilisation du lysozyme pour la conservation des aliments présente un intérêt, puisqu'il s'agit d'un conservateur naturel. Cette utilisation est répandue au Japon, mais l'est nettement moins en Europe où le lysozyme est classé parmi les agents de conservation sous le n° E1105. Les Japonais ont déposé plusieurs brevets dans ce domaine (Proctor et Cunningham, 1988), notamment dans l'utilisation du lysozyme pour prolonger la durée de fraîcheur des légumes, des aliments à base de produits de la mer et des produits carnés. Dans certains cas, des films d'emballage alimentaires sont "aseptisés" par enrobage avec du lysozyme. Le lysozyme est également utilisé pour la stabilisation de vins ou de saké au cours du stockage (Eisai Company, 1971 et 1972) ; en général, dans les alcools, aucun effet sur la saveur n'est observé jusqu'à une concentration de 20 mg/l en lysozyme. L'activité de cette enzyme peut être maintenue dans ces aliments sur des périodes relativement longues (jusqu'à un an à température ambiante dans le saké).

Dubois-Prévost (1970) a proposé que le lysozyme puisse être associé dans des formules pour la fabrication d'aliments pour enfants, de façon à obtenir des produits aussi proches que possible du lait humain, favorisant la propagation de *Lactobacillus bifidus* (invulnérable au lysozyme) chez l'enfant. Aujourd'hui cette protéine est ajoutée au lait infantile en France.

Les propriétés antimicrobiennes du lysozyme sont également exploitées en industrie pharmaceutique (Proctor et Cunningham, 1988). Le lysozyme est reconnu comme étant un agent immunologique et a été surnommé "antibiotique endogène". Grâce à cette propriété, cette enzyme est utilisée dans la thérapie contre des infections virales ou bactériennes (p.e. traitement d'angine de la gorge (Lysopaïne), des aphtes (Lyso 5). Le lysozyme est également utilisé comme analgésique chez les personnes souffrant de cancer et comme agent stimulant dans les traitements par des antibiotiques. Il a été aussi utilisé dans la prophylaxie et la thérapie des leucopénies induites par des radiations ionisantes. Le lysozyme a été testé dans des traitements d'infections de la bile chez l'homme par des coliformes et dans les otites externes induites expérimentalement chez le chien. Le lysozyme est utilisé depuis longtemps chez les Japonais en médecine douce.

Le lysozyme se présente donc aujourd'hui comme un antibactérien naturel de plus en plus utilisé (surtout au Japon et aux USA) comme conservateur naturel des aliments et en pharmacie. Sa grande stabilité thermique aux pH acides et le maintien de son activité en présence de sel et de sucres permettent sa mise en jeu dans de nombreux domaines. Bien qu'actuellement très peu exploité en France en agro-alimentaire, il offre une potentialité intéressante en temps que conservateur naturel sans effet sur la qualité organoleptique de l'aliment et sans danger connu pour la consommation humaine (aux doses utilisées ou susceptibles de l'être). Ce domaine mérite d'être exploré.

L'avidine

L'avidine (Tableau I) est une protéine présente en quantité relativement faible dans le blanc d'oeuf de poule (0.05% des protéines). Le tableau III montre quelques caractéristiques importantes de l'avidine. Elle présente une forte affinité ($K_a = 10^{15}M$) pour la biotine (vitamine H). Aujourd'hui, c'est cette

caractéristique qui est mise à profit dans les utilisations de l'avidine (Bayer et Wilchek, 1980; Davidson et al., 1986 ; Cummins et al., 1990; Bayer et Wilchek, 1990). L'affinité de l'avidine pour la biotine est maintenue entre pH 2 et 13. Le complexe avidine-biotine est très résistant aux attaques par des enzymes ou des agents dénaturants tel que l'hydrochlorure de guanidine.

L'avidine est souvent purifiée à partir du blanc d'oeuf par chromatographie échangeuse de cations (Durance et Nakai, 1988) ou par chromatographie d'affinité (Heny et Orr, 1981).

Les principales applications de l'avidine sont basées sur le fait que la biotine liée à des composés de faible ou haut poids moléculaires, peut encore interagir avec l'avidine. De cette façon, la médiation à travers le complexe avidine-biotine entraîne souvent une amplification du signal et/ou des niveaux de sensibilité (Bayer et Wilchek, 1990). Ainsi le système avidine-biotine est utilisé pour augmenter de façon significative la sensibilité des techniques immunologiques comme l'ELISA. Ce système est également utilisé pour le diagnostic médical : en immunologie, histopathologie et par l'utilisation de marqueurs génétiques. D'autres applications incluant le ciblage par affinité, les études d'immobilisation, la cytométrie cellulaire, les techniques de blotting, la délivrance de médicaments, la bioaffinité et la technologie des hybridomes, ont été développées (Bayer et Wilchek, 1980; Davidson et al., 1986 ; Cummins et al., 1990; Bayer et Wilchek, 1990).

Il faudrait signaler que l'utilisation de l'avidine peut, dans certains cas, conduire à des fixations non-spécifiques (notamment avec les lectines), à cause de la basicité de la protéine et du fait de sa glycosylation (10 % de sucres). Des essais de remplacement de cette protéine par la Streptavidine (neutre et non glycosylée) extraite de *Streptococcus avidinii* ont été entrepris. Depuis, de l'avidine aviaire modifiée, neutre et déglycosylée, sous le nom de Neutralite (Belovo, Belgique), est disponible sur le marché. A notre connaissance, l'avidine n'est pas produite industriellement en France. Cependant, cette protéine est commercialisée en Europe par une société belge, Belovo.

En conclusion, on pourrait dire que les applications de l'avidine sont essentiellement dans le domaine bio-médical. Le complexe avidine-biotine est principalement utilisé en biochimie et en immunochimie, dans les laboratoires de recherche, et dans des techniques mises en jeu pour des diagnostics médicaux. Jusqu'à présent, la liaison entre l'avidine et la biotine, bien qu'étudiée, reste encore mal élucidée. Un progrès dans ce domaine permettrait éventuellement d'élargir le champ d'application de cette protéine qui n'est déjà pas négligeable.

L'ovotransferrine ou conalbumine

L'ovotransferrine (Tableau I) est une protéine capable de fixer deux atomes de fer par molécule ainsi que d'autres ions métalliques tels que le cuivre, le zinc, le cobalt, l'aluminium...(Ichimura et al., 1989).

A notre connaissance, il n'existe pas à l'heure actuelle d'extraction à l'échelle industrielle comme pour le lysozyme. Les seules formes de commercialisation de cette protéine seraient celles des fournisseurs de laboratoires de recherches. Ces fournisseurs utilisent des procédés d'extraction mis au point à l'échelle du laboratoire, comportant principalement la chromatographie échangeuse de cations (Guérin et Brulé, 1992).

Il a été montré que l'ovotransferrine, grâce à sa capacité de fixer du fer, est capable d'inhiber la croissance de bactéries proliférant dans les aliments telles que *Pseudomonas sp.*, *Escherichia coli*, des mutants de *Streptococcus*. Cette inhibition est maximale dans les conditions où la formation du complexe est maximale (Valentini et al., 1983). Certains auteurs ont proposé, sur la base de cette activité antimicrobienne, l'utilisation de l'ovotransferrine en nutrition infantile, puisque la présence de cette protéine ne semblait pas avoir d'effets allergéniques (Al Mashiki et al., 1987 ; Del Giacco et al., 1985). Par ailleurs, un brevet a été déposé proposant l'utilisation de l'ovotransferrine dans la composition d'un produit utilisable dans le traitement d'infections intestinales bactériennes (Antonini, 1977). En 1981, la société pharmaceutique Recordati commercialisait un médicament appelé Diarconal contre la diarrhée, dans lequel était incluse la conalbumine.

La capacité de fixation de métaux par l'ovotransferrine peut laisser supposer que cette protéine, ou un fragment de cette protéine, puisse être utilisé comme transporteur dans des régimes supplémentés en minéraux. Ce domaine d'investigation est encore inexploré.

A notre avis, le domaine d'investigation des applications de cette protéine, bien que limité à un secteur médico-nutritionnel, mériterait d'être approfondi.

L'ovomucine

L'ovomucine est une protéine hautement polymérisée avec un poids moléculaire allant de $0,22 \times 10^6$ à 270×10^6 Da en fonction des conditions de préparation de l'échantillon. Cette protéine est supposée jouer un rôle prépondérant dans la structure du blanc d'oeuf. Très peu de choses sont connues sur cette protéine dont l'étude est rendue difficile par le fait qu'elle se polymérise très facilement et qu'elle est difficilement soluble après extraction. Bien que découverte depuis bientôt 100 ans, sa structure reste encore mal connue. Sa composition en acides aminés et en sucres varie selon les auteurs et sa structure primaire est indéterminée.

Des propriétés applicables dans le domaine médical (p.e. propriétés anti-hémagglutinantes vis-à-vis des virus) ont été attribuées à l'ovomucine (Lanni et al., 1949). Cette protéine présente de fortes potentialités du fait de sa très grande richesse en sucres (en moyenne 30%) : elle appartient à la classe des mucines. En effet, il a été montré que les complexes glucidiques régulent les propriétés physiologiques, qu'ils constituent des antigènes spécifiques et sont des récepteurs d'hormones, de toxines, de bactéries et de virus (Van Boeckel, 1986 ; Kobata, 1992). Par ailleurs, les dérivés carbohydrates induisent l'activité pharmacologique. On pourrait envisager l'utilisation de dérivés obtenus à partir de l'ovomucine dans l'une ou l'autre application. Quelques exemples mettant en jeu les carbohydrates de glycoprotéines peuvent être cités : plusieurs dérivés saccharidiques ont été développés comme drogues, la plupart étant des antibiotiques ou des cytostatiques, des inhibiteurs d' α -glycosidases bactériennes, des immunostimulants (Van Boeckel, 1986).

En conclusion, il apparaît que l'ovomucine présente des potentialités d'application en . La connaissance de la structure de cette protéine et l'étude des glycopeptides obtenus par hydrolyse enzymatique nous paraît être un passage obligé pour éventuellement proposer des applications concrètes.

Les autres protéines majeures du blanc d'oeuf de poule

L'ovalbumine représente la protéine majoritaire de l'albumen (54%). Aucun rôle biologique particulier n'a été à ce jour attribué à cette protéine. Cependant, on pourrait lui attribuer un rôle nutritionnel, par exemple comme source d'acides aminés notamment de la phenylalanine. D'autres protéines du blanc d'oeuf, telles que les protéines susceptibles de fixer des vitamines (flavoprotéine, thiamin-binding protein...) pourraient présenter un intérêt comme transporteurs de vitamines. Les inhibiteurs de protéases peuvent quand à eux présenter des intérêts dans la lutte antimicrobienne, à condition que leur ingestion n'entraîne pas d'allergies.

Autres applications

En marge des applications principalement médicales et nutritionnelles (à l'exception du lysozyme qui est également utilisé pour la conservation des aliments), les protéines du blanc d'oeuf de poule sont essentiellement utilisées dans l'oeuf entier ou dans le blanc, pour leurs propriétés fonctionnelles. En effet, les propriétés moussantes, stabilisatrices de mousse, gélifiantes de ces protéines, sont mises en jeu dans des domaines variés de l'agro-alimentaire : pâtisserie, biscuiterie, charcuterie... Le blanc d'oeuf est également utilisé comme "colle" alimentaire, sûrement grâce à certaines propriétés des protéines qu'il renferme. Par exemple, il a été utilisé comme agent "collant" en brasserie et en vinification.

Afin de rendre plus spécifiques ces applications, il serait intéressant de fabriquer des fractions protéiques présentant des propriétés fonctionnelles données, utilisables dans les domaines ci-dessus cités ou éventuellement d'autres domaines à définir. Cependant, la compréhension des mécanismes des différentes propriétés fonctionnelles est loin d'être complète. On pourrait se demander si l'utilisation d'ovoproduits "complets" (blanc d'oeuf, oeuf entier) ne conduit pas dans bien des cas à un gaspillage de certaines protéines qui n'interviendraient absolument pas dans les propriétés fonctionnelles recherchées. Une voie de valorisation des ovoproduits serait par conséquent de les adapter aux applications auxquelles ils sont destinés. Il faudrait donc arriver à ne vendre que ce qui est strictement nécessaire au développement des propriétés recherchées, en valorisant bien sûr par ailleurs les coproduits présentant d'autres propriétés.

Conclusions

Il apparaît très nettement que les protéines du blanc d'oeuf sont déjà largement utilisées en agro-alimentaire et dans les domaines bio-médical et pharmaceutique. Ces protéines sont utilisées pures, partiellement pures ou en mélange dans le blanc ou dans l'oeuf entier. Nous sommes persuadés que ces protéines sont loin d'avoir livré tous leurs secrets et que les années à venir pourraient voir un "boum" de leurs applications. Bien qu'ayant une valeur nutritionnelle élevée, l'oeuf dans son entité a eu une mauvaise image à cause de la présence du cholestérol dans le jaune (Hermier, 1994) et des contaminations bactériennes de cet aliment (Salmonelles). Cette image tend de plus en plus à disparaître et disparaîtra totalement d'autant plus qu'on aura prouvé que les composants de l'oeuf, plus particulièrement les protéines peuvent avoir un grand intérêt.

Une activité de recherche fondamentale portant sur la physico-chimie des protéines du blanc d'oeuf pourrait permettre de mieux connaître ces protéines et d'élargir leur potentialité ou d'améliorer les applications déjà connues. Par ailleurs, une recherche beaucoup plus appliquée, concernant notamment l'obtention de fractions protéiques du blanc d'oeuf, pouvant présenter des propriétés fonctionnelles intéressantes en agro-alimentaire, en nutrition ou en cosmétologie, est également envisagée. Toutes ces préoccupations font l'objet de nos activités de recherches actuelles et à venir.

Références

- Alderton G., Fevold H.L., 1946. *J. Biol. Chem.*, 164, 1-5.
Al-Mashiki S.A., Nakai S., 1987. *Agric. Biol. Chem.*, 51, 2881-2887.
Anastasi A., Brown M.A., Kembhavi A.A., Nicklin M.J.H., Sayers C.A., Sunter D.C., Barrett A.J., 1983. *Biochem. J.*, 211, 129-138.
Antonini E., 1977. US Patent 4029771.
Bayer E.A., Wilchek M., 1980. *Methods Biochem. Anal.*, 26, 1-45.
Bayer E.A., Wilchek M., 1990. *J. Chromatogr.*, 510, 3-11.
Cummins D.R., Reynolds D.L., Rhoades K.R., 1990. *Avian Diseases*, 34, 36-43.
Cunningham F.E., Proctor V.A., Goetsch S.J., 1991. *World's Poultr. Sci. J.*, 47, 141-163.
Dacosta Y., 1993. *Process n° 1080*, 47-48.
Davidson I., Malkinson M., Strenger C., Becker Y., 1986. *J. Virol. Meth.*, 14, 237-241.
Del Giacco G.S., Leone A.L., Ferlazzo A., 1985. *Int. J. Tiss. React.*, 7, 535-537.
Dubois-Prevost R., 1970. *Aliment. Vie*, 58, 44-49.
Durance T.D., Nakai S., 1988. *J. Food Sci.*, 53, 1096-1102.
Eisai Company, 1971. Japanese patent 3-116/71.
Eisai Company, 1972. Japanese patent 7357/72.
Guérin C., Brulé G., 1992. *Sci. Aliments*, 12, 705-720.
Heny G., Orr G.A., 1981. *Anal. Biochem.*, 114, 92-96.
Hermier D., 1994. *INRA Prod. Anim.*, 7, 245-252.
Ichimura K., Kihara H., Yamamura T., Satake K., 1989. *J. Biochem.*, 106, 50-54.
Imoto T., Yagishita K., 1973. *Agric. Biol. Chem.*, 37, 465-470.
Itoh T., Takeuchi S., Saito T., 1993. *Biosci. Biotech. Biochem.*, 57, 1018-1019.
Kobata A., 1992. *Eur. J. Biochem.*, 209, 483-501.
Lanni F., Sharp D.G., Eckert E.A., Dillon E.S., Beard D., Beard J.W., 1949. *J. Biol. Chem.* 179, 1275-1287.
Li-Chan E., Nakai S., 1989. *Critic. Rev. Poult. Sci.*, 2, 21-58.
Li-Chan E., Nakai S., Sim J., Bragg D.B., Lo K.V., 1986. *J. Food Sci.*, 51, 1032-1036.
Peri C., Ferescini C., 1972. *Sci. Technol. Aliment.*, 2, 120-122.
Petrovic S., Vitale L., 1990. *Comp. Biochem. Physiol.*, 95B, 589-595.
Powrie W.D., Nakai S., 1986. *Egg Science and Technology*, (W.J. Stadelman and O.J. Cotterill, edit.) Macmillan, London, 3rd ed., p102.
Proctor V.A., Cunningham F.E., 1988. *CRC Crit. Rev. Food. Sci. Nutr.*, 26, 359-395.
SPA-Societa Prodotti Antibiotici, 1977. Italian patent n° 2157826.
Stevens L., 1991. *Comp. Biochem. Physiol.*, 100B, 1-9.
Tomimatsu Y., Donovan J.W., 1972. *J. Agric. Food Chem.*, 20, 1067-1073.
Vachier M.C., Piot M., Awadé A., 1994. *J. Chromatogr. B: Biomed. Applic.*, in press.
Valentini P., Antonini G., Van Hunolstein C., Visca P., Orsi N., Antonini E., 1983. *Int. J. Tiss. React.*, 5, 97-105.
Van Boeckel C.A.A., 1986. *Recl. Trav. Chim. Pays-Bas*, 105, 35-53.

Tableau I. Propriétés principales des protéines du blanc d'oeuf de poule

Proteine	Quantité (%)	Mr	pI	Propriétés fonctionnelles et biologiques
Ovalbumine ¹	54	45 000	4,5	Géifiante
Ovotransferrine ¹	12-13	77 700	6,0	Fixe le fer et d'autres ions métalliques
Ovomucoïde ¹	11	28 000	4,1	Inhibiteur de protéinases à sérine, allergénique
Lysozyme ¹	3,4-3,5	14 300	10,7	Lyse de parois bactériennes
Ovomucine ^{1,2}	1,5-3,5	0,22-270 x 10 ⁶	4,5-5,0	Interaction avec le lysozyme, rôle structural
Ovoglobuline G2 ³	1,0	47 000	4,9-5,3	?
Ovoglobuline G3 ³	1,0	50 000	4,8	?
Ovo flavoprotéine ¹	0,8	32 000	4,0	Fixe la riboflavine
Ovostatine ¹	0,5	7,6-9,0 x 10 ⁵	4,5-4,7	Inhibiteur de protéinases
Cystatine ^{1,4}	0,05	12 000	5,1	Inhibiteur de protéinases à cystéine
Avidine ¹	0,05	68 300	10,0	Fixe la biotine
Thiamin-binding protein ³	?	38 000	?	Fixe la thiamine
Glutamyl aminopeptidase ⁵	?	320 000	4,2	?
Glycoprotéine mineure ¹ ⁶	?	52 000	5,7	?
Glycoprotéine mineure ² ⁶	?	52 000	5,7	?

1: Li-Chan et Nakai, 1989 ; 2: Tomimatsu et Donovan, 1972 ; 3 : Stevens, 1991 ; 4 : Anastasi et al., 1983 ; 5 : Petrovic et Vitale, 1990 ; 6 : Itoh et al., 1993 ;
 ? : non déterminé.

Tableau II. Exemples de sources de lysozyme.*

Sources	Taux de lysozyme (mg/l)
Larmes humaines	7000
Blanc d'oeuf de poule	3000 à 5000
Salive humaine	150 à 200
Lait de femme	15 à 500
Jus de chou-fleur	28
Colostrum de vache	0,12 à 0,84
Lait de vache	0,13 à 0,30

* Extrait de Dacosta (1993)

Tableau III. Caractéristiques importantes de l'avidine*

Poids moléculaire	67 000
Poids moléculaire des sous-unités	15 600
K _A (complexe avidine-biotine)	10 ¹⁵ M
Oligosaccharide/sous unité	1
Mannose/sous-unité	4-5
Glucosamine/sous unité	3
Tryptophane/sous-unité	4

* Extrait de Bayer et Wilchek, 1980.