



**HAL**  
open science

## Protéines végétales et risque allergique

Colette Larré, Chantal Brossard, Sandra Denery, Virginie Lollier, Roberta Lupi

► **To cite this version:**

Colette Larré, Chantal Brossard, Sandra Denery, Virginie Lollier, Roberta Lupi. Protéines végétales et risque allergique. *Innovations Agronomiques*, 2016, 52, pp.63-72. 10.15454/1.5135842600586855E12 . hal-01652913

**HAL Id: hal-01652913**

**<https://hal.science/hal-01652913>**

Submitted on 30 Nov 2017

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

## Protéines végétales et risque allergique

Larré C.<sup>1</sup>, Brossard C.<sup>1</sup>, Denery S.<sup>1</sup>, Lollier V.<sup>1</sup>, Lupi R.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> UR 1268 Biopolymères, Interactions, Assemblages, INRA, F-44316 Nantes

**Correspondance** : colette.larre@nantes.inra.fr

### Résumé

L'augmentation de la part des protéines végétales dans l'alimentation humaine est une des réponses aux enjeux économiques, nutritionnels et écologiques des prochaines décennies. La connaissance actuelle des mécanismes et des molécules impliquées dans l'allergie alimentaire suggère toutefois un risque d'augmenter simultanément la prévalence de cette pathologie. Les familles protéiques fréquemment consommées et dans lesquelles se répartissent la majorité des allergènes alimentaires ont une conservation structurale importante. Cette ressemblance est souvent à l'origine de réactions croisées. Il est probable que ces familles seront concernées, ce qui risque d'impacter la prévalence de l'allergie alimentaire. Les procédés de transformation utilisés par l'industrie alimentaire entraînent des modifications des molécules qui peuvent dans certains cas détruire des épitopes existants ou en créer de nouveaux à l'origine de néo-sensibilisation. C'est le cas notamment de la désamidation du gluten de blé. En l'absence de méthode de référence pour la prédiction de ce risque, il est essentiel de mettre en place une stratégie de recherche prospective sur ces aspects afin de l'estimer et de l'appréhender au mieux.

**Mots-clés** : Aliment, Protéines végétales, Structure, Allergie, Risque

### Abstract: Increase of plant proteins in our diet and impact on allergic risk

Increasing the contribution of vegetable proteins in the diet can be a response to the economic and ecological challenges in the next decades. Current knowledge of the mechanisms and molecules involved in food allergy suggests a risk of increasing the prevalence of this pathology. Protein frequently consumed gathered in families with structural conservation in which most food allergens are distributed. This proximity often causes cross-reactions. The same families will be likely involved in the diversification of the diet, which may impact the prevalence of food allergy. Moreover, the processing methods used by food industry may destroy existing epitopes or create new ones, possibly responsible for new sensitization. This is the case of deamidation of wheat gluten. The lack of reference method for predicting the risk makes essential the establishment of a forward-looking research strategy on these aspects.

**Keywords**: Food, Plant protein, Structure, Allergy, Risk

### Introduction

Les prospectives montrent que la terre comptera 9 milliards d'habitants en 2050 et les nourrir constituera alors un énorme défi. L'élévation du niveau de vie dans les pays émergents se traduit déjà par une demande accrue en protéines notamment animales qui sera dans quelques années accentuée par l'augmentation de la population. Cette demande en protéines ne pourra pas être couverte de façon durable uniquement par une augmentation de la consommation de sources animales.

L'augmentation de la part des protéines végétales dans l'alimentation est une des pistes envisageables pour répondre à ce défi. En effet, dans les pays développés, la consommation de protéines est

stabilisée et couvre plus de 15% de nos besoins en énergie. Dans ces pays, les protéines animales représentent environ 2/3 des protéines consommées, cette proportion pourrait être réduite.

Le marché des protéines végétales (PV) s'accroît depuis plusieurs années et une hausse significative est prévisible d'ici 2030. A l'heure actuelle, la première source de protéines végétales dans notre alimentation est le blé, principalement dans le secteur de la boulangerie-vienniserie-pâtisserie (BVP). Depuis quelques années, l'utilisation de protéines végétales dans les produits alimentaires transformés augmente. Un état des lieux réalisé par Estève-Saillard montre une progression de 18% en 2015 du nombre de produits contenant des PV en France (Estève-Saillard, 2016). Cette utilisation croissante de protéines végétales dans notre alimentation risque-t-elle d'augmenter la prévalence des allergies alimentaires aux protéines végétales?

Malgré leurs intérêts nutritionnel et agro-écologique ces protéines végétales représentent également une source d'allergie alimentaire préoccupante. La recherche étudie depuis les années 80 les mécanismes de ce dérèglement de la réponse immunitaire ainsi que son évolution au niveau épidémiologique. Sur la base des connaissances actuelles et au travers des résultats récents publiés sur le sujet, nous apportons des éléments-clés pour comprendre dans quelle mesure une telle évolution de notre alimentation risque d'augmenter la prévalence des allergies alimentaires aux protéines végétales.

## 1. L'allergie alimentaire

L'allergie alimentaire est une hypersensibilité de type I, il s'agit d'une réaction anormale et exagérée du système immunitaire aux protéines d'un aliment appelées allergènes. Ces allergènes en se liant aux immunoglobulines de type E (IgE) fixées à la surface des cellules de type basophiles ou mastocytes vont provoquer la libération de substances inflammatoires comme par exemple l'histamine et induire la phase symptomatique.

La prévalence des allergies qui inclue les allergies alimentaires est globalement en augmentation (Sathe et al., 2016). Dans les pays occidentaux, l'allergie alimentaire affecterait ~ 5% des adultes et ~ 8% des enfants (Sicherer et Sampson, 2014). Huit types d'aliments sont responsables d'environ 90% des allergies alimentaires : lait, œuf, poissons, crustacés, fruits à coques, arachide, blé et soja. Les enfants sont plus souvent sensibilisés au lait ou à l'œuf alors que les adultes répondent plutôt à des aliments d'origine végétale comme l'arachide ou les fruits à coques.

Cependant, la prévalence varie en fonction des régions géographiques en lien avec les habitudes alimentaires. Une étude conduite par le National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES) révèle que les trois aliments les plus fréquemment impliqués chez les enfants (< 5 ans) sont le lait de vache (21.8%), l'œuf (14.2%) puis l'arachide (6.8%) (Savage et Johns, 2015). En Israël, une étude conduite sur 102 enfants allergiques (1-24 mois) révèle que, après l'œuf (42%) et le lait (28%), le sésame arrive en troisième position avec 16% de réponses aux tests cutanés bien devant l'arachide (4%) (Dalal et al., 2002). Un questionnaire réalisé en Asie (Philippines) met en évidence une faible prévalence de l'allergie à l'arachide et aux fruits à coques chez les enfants, et en contrepartie une forte prévalence de l'allergie aux crustacés (Shek et al., 2010).

## 2. Description des allergènes d'origine végétale

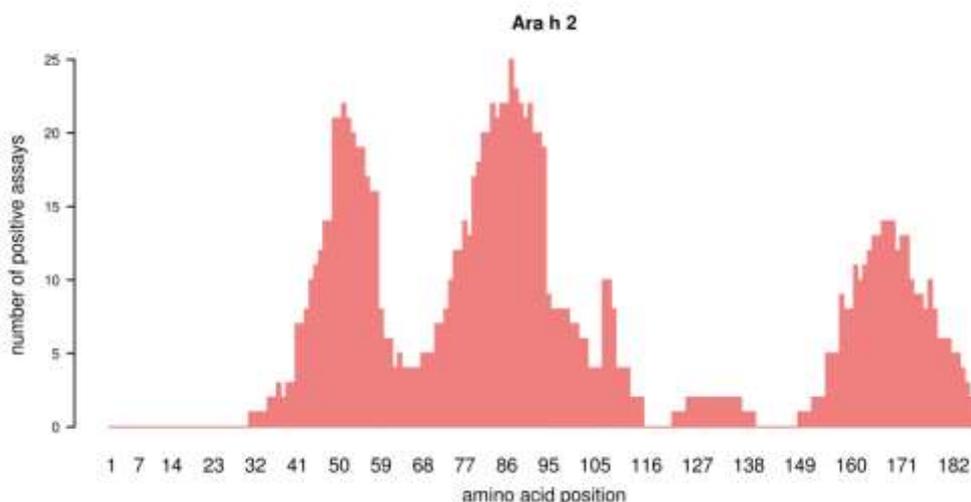
A l'heure actuelle la plupart des végétaux consommés sont sources d'allergie alimentaire : les légumineuses et oléagineux (LO), fruits à coques (FC), céréales (CE), fruits et légumes (FL) et graines (GR). La majorité (65%) des protéines impliquées dans ces allergies se répartissent dans seulement quatre familles structurales (Radauer et al., 2008): les superfamilles des cupines et des prolamines chez qui on trouve notamment les protéines de réserve des graines et deux autres familles : les

profilines et les Pathogenesis-related (PR 10) (Tableau 1). Les protéines de réserve sont codées par des familles multigéniques et présentent un grand polymorphisme ce qui complexifie l'étude de leur allergénicité. Les profilines et les PR10 sont principalement sensibilisants par voie respiratoire et les PR10 ne sont pas spécifiques des plantes. Quelques allergènes sont listés au sein de chaque groupe, pour un certain nombre d'entre eux les épitopes ont été décrits ainsi que l'illustre la Figure 1 (Lollier et al., 2014).

Une base de données complète et référencée est disponible à [www.allergen.org](http://www.allergen.org) (Chapman et al., 2007).

**Tableau 1** : Famille de protéines, catégorie d'aliments, exemples d'allergènes reconnus par l'IUIS (source)

<b>Superfamille des cupines</b>		
11S globulines	LO, FC	Ara h 3 (arachide), Cor a 9 (noisette), Gly m 6 (soja),
7S globulines	LO, FC	Ara h 1 (arachide), Gly m 5 (soja), Len c 1 (lentille), Pis s 1 (pois)...
<b>Superfamille des prolamines</b>		
prolamines	CE	Tri a 19 (blé), Tri a 21 (blé), Hor v 20 (orge), Sec c 20 (seigle)...
2S Albumines	LO, FC CE, GR	Ara h 2, Ara h 6 (arachide), Ses l 1, Ses l 2 (sesame), Jug r 1 (noix), Sin a 1 (moutarde), pin p 1 (pin)
nsLTP	LO, FC, CE, FL, GR	Ara h 9 (arachide), Cor a 8 (noisette), Tri a 14 (blé), Pru p 3 (pêche), Mal d 3 (pomme), Act d 10 (Kiwi)...
Inhibiteurs $\alpha$ amylase	CE	Hor v 1 (orge), Tri a 15 (blé), Sec c 1 (seigle)...
<b>Pathogenesis-Related protéines (PR-10) homologues de Bet v 1</b>		
	LO, FC, FL	Gly m 4 (soja), Ara h 8 (arachide), Cor a 1 (noisette), Api g 1 (céleri), Pru p 1 (pêche), Act d 8 (Kiwi)...
<b>Profilines</b>		
	LO, FL	Ara h 5 (arachide), Api g 4 (céleri), Act d 9 (Kiwi)...



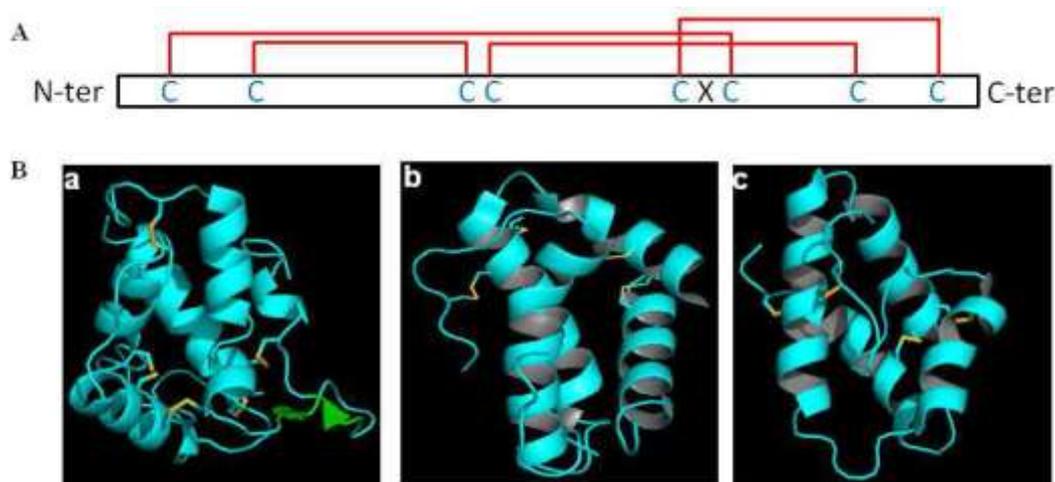
**Figure 1** : Positionnement des tests positifs d'identification d'épitopes le long de la séquence protéique d'Ara h 2. Trois zones (autour des positions 50, 86 et 168) sont fréquemment identifiées dans la littérature comme siège d'une interaction de l'allergène avec les IgE. La région 1-30 correspond au peptide signal.

## 2.1 Les cupines

Cette superfamille comprend les protéines de réserve de nombreuses graines de dicotylédones appelées globulines. Deux types sont décrits et classés en fonction de leur coefficient de sédimentation (coefficient de Svedberg) : les 11S apparentées à la glycinine (Tandang-Silvas et al., 2010) et les 7S apparentées à la phaséoline (Lawrence et al., 1994). Sous leur forme mature, ces protéines sont oligomériques et constituent les protéines de réserve. Les globulines 11S (300-400 kDa) sont constituées de six sous-unités de 50-60 kDa composées de polypeptides acides et basiques liés par un pont disulfure. Les globulines 7S (150-200 kDa) sont des trimères constitués de trois sous-unités ( $\alpha'$ ,  $\alpha$  et  $\beta$ ) de masses moléculaires allant de 40 à 70 kDa. Ces trimères ne sont pas stabilisés par des ponts disulfures et peuvent être glycosylés (Shewry et al., 1995).

## 2.2 Les prolamines

Les protéines de cette superfamille partagent toutes une architecture basée sur la présence de ponts disulfures et des structures secondaires principalement en hélices alpha (Figure 2). Elles sont réparties en 4 familles: les protéines de réserve des céréales, les albumines 2S, nsLTP, les inhibiteurs d' $\alpha$ -amylase/trypsine.



**Figure 2** : Structure des prolamines. (A). Représentation schématique de la connectivité des 8 cystéines conservées de la superfamille des prolamines. (B). Structures 3D de 3 allergènes majeurs de la superfamille des prolamines. a: Inhibiteur d' $\alpha$ -amylase de blé (code pdb 1HSS); b: Albumine 2S d'arachide Ara h 2 (3OB4); c: LTP1 de blé Tri a 14 (1GH1). Cyan: hélices  $\alpha$ ; Vert: feuillets  $\beta$ ; Jaune : ponts disulfures. (Mameri, 2012)

**Les gliadines et gluténines** : La plupart des protéines de l'albumen des céréales sont des prolamines, ainsi nommées à cause de leur richesse en proline et glutamine. Dans le cas du blé, les prolamines (gliadines et gluténines) constituent le gluten responsable des propriétés viscoélastiques de la pâte.

Les  $\alpha$ - et  $\gamma$ -gliadines ainsi que les gluténines de faible poids moléculaire ont un domaine répété N-terminal similaire et un domaine C-terminal qui porte des cystéines impliquées dans la formation des pont-disulfures. Ces protéines ont été identifiées comme allergènes majeurs (Tri a 20, Tri a 21, Tri a 36). Des homologues de ces protéines sont présents dans l'orge et le seigle respectivement sous les appellations hordéine et sécaline. Une autre classe importante de prolamines est représentée par les  $\omega$ -gliadines qui se distinguent par leur faible contenu en acides aminés soufrés et une absence de cystéines. L'  $\omega$ 5-gliadine (Tri a 19) est un allergène majeur reconnu; chez les adultes il est impliqué

dans l'anaphylaxie induite par l'effort qui se manifeste quand son ingestion est suivie par un effort physique.

**Les albumines 2S** (12-15 kDa) sont constitués de deux sous-unités (4-9 kDa) reliées par 4 ponts disulfures et sont accumulées sous forme d'hétérodimères (Lawrence et al., 1994). Certaines d'entre elles sont des allergènes importants des oléagineuses et des légumineuses avec notamment Ara h 2 (arachide), des noix, des céréales, des fruits et légumes (Moreno et Clemente, 2008).

**Les nsLTP** sont constituées de protéines monomériques reliées par 4 ponts disulfures, elles ont structure compacte, stable et très conservée. Ce sont des protéines ubiquitaires au travers du règne végétal. Habituellement accumulées au niveau de l'épiderme des fruits, les réactions allergiques sont plus sévères vis-à-vis de la peau que de la pulpe pour les fruits de type pomme, pêche (Pru p 3), abricot et autres Rosaceae. Ces protéines sont des allergènes majeurs, elles sont résistantes au traitement thermique, à l'hydrolyse, au changement de pH (Van Winkle et Chang, 2014).

**Les inhibiteurs d'alpha-amylase** constitués de sous-unités (10-16 kDa) contenant 4 ponts disulfures sont trouvés sous formes monomérique (Tri a 15), dimérique (Tri a 28) ou tétramérique (Tri a 30). Les allergènes de cette classe de protéines sont capables de sensibiliser de patients à la fois par ingestion et par inhalation (Radauer et Breiteneder, 2007).

### 3. Réactivité croisée

La diversification des protéines végétales dans l'alimentation pourrait étendre le risque d'allergie croisée sur les populations de patients atopiques (à prédisposition génétique). En effet, un patient allergique sensibilisé à un aliment peut également réagir à un autre aliment, souvent un aliment connexe ; par exemple un patient allergique à l'arachide pourra réagir à d'autres légumineuses. On appelle cela une allergie croisée et elle se traduit par des symptômes cliniques. Les techniques de diagnostic par la recherche d'IgE spécifiques ou les tests cutanés permettent quant à elles de mettre en évidence une réactivité croisée qui généralement s'explique au niveau moléculaire par les similitudes de structures et les homologies de séquences qui existent entre protéines apparentées. Ces techniques peuvent mettre en évidence une réactivité potentielle à un grand nombre de protéines notamment avec l'augmentation du nombre de protéines disponibles dans les tests commerciaux. Elles apportent une aide au diagnostic mais doivent être confirmées par une manifestation clinique à la consommation de l'aliment avec si nécessaire un test de provocation orale (TPO). Une étude conduite sur 65 patients allergiques à des fruits de la famille des Rosaceae a montré que la plupart d'entre eux réagissaient à plusieurs des fruits testés par un dosage IgE spécifique. Les TPO n'ont validé ces résultats que pour 14 de ces patients ce qui a permis d'éviter la mise en place un régime d'éviction contraignant et injustifié pour plusieurs patients (Crespo et al., 2002).

La plupart des protéines végétales incorporées dans des aliments en remplacement de protéines animales sont actuellement préparées à partir des graines de céréales, légumineuses ou oléagineuses. Il s'agit de protéines de réserve qui, selon l'espèce végétale considérée, appartiennent à l'une des familles précédemment décrites : les prolamines, les globulines 7S ou 11S et les albumines 2S (Tableau 1). Les allergènes les plus fréquents et aussi les plus étudiés chez les végétaux sont ceux de l'arachide et du blé. On y trouve des représentants de chaque famille avec notamment Ara h 1 (7S) et Ara h 3/Ara h 4 (11S) pour les globulines, Ara h 2 (2S) pour les albumines et Tri a 21 et Tri a 19 pour les prolamines. Compte tenu de la conservation des séquences au sein d'une famille, il est fréquent d'observer une reconnaissance des protéines par des IgE de patients allergiques à un autre membre de la famille (Pastorello et al., 2001). Cela permet de mettre en évidence des régions consensuelles ou la présence d'épitopes partagés comme par exemple entre Sin a 1 (moutarde jaune) et Bra j 1 (moutarde brune) (González de la Peña et al., 1991). Une étude récente de la réactivité croisée d'un isolat de pois (*Pisum sativum sativum* var. *arvense*) produit industriellement avec des sérums de

patients allergiques à des légumineuses et/ou à l'arachide met en évidence un risque accru de réaction pour les patients déjà sensibilisés à l'arachide et à d'autres légumineuses (Richard et al., 2015).

#### 4. Impact des procédés technologiques

Les procédés technologiques peuvent affecter les propriétés allergéniques de protéines de deux manières : 1/ en modifiant la capacité d'un allergène à induire une réponse allergique chez un patient déjà allergique ce qui impacte la phase symptomatique 2/ en modifiant l'aptitude des protéines à sensibiliser des individus, dans ce cas c'est la phase de sensibilisation qui est impactée (Verhoeckx et al., 2015). Les données de la littérature concernent principalement le 1<sup>er</sup> cas.

##### 4.1 Cuisson

La cuisson induit la dénaturation des protéines puis leur agrégation par formation de liaisons intermoléculaires covalentes ou non covalentes. Elle peut aussi induire l'hydrolyse de liaisons peptidiques et des réactions avec d'autres molécules, sucres ou lipides (Vissers et al., 2011). Les traitements thermiques réduisent principalement l'allergénicité des allergènes appartenant aux familles des PR-10 et profilines et ont un effet limité sur les protéines de réserve des graines et les nsLTP. Ainsi, le chauffage permet de diminuer l'allergénicité de la majorité des fruits à l'exception notable de la mangue (Dube et al. 2004). Une ébullition permet de réduire l'allergénicité des lentilles ou du céleri (Ibáñez Sandín et al. 1999) alors que le lupin nécessite un autoclavage (Alvarez-Alvarez et al., 2005). Au cours de certaines préparations, une fraction des allergènes peut être éliminée par transfert dans l'eau de cuisson. Enfin, le grillage à sec conduit à des arachides plus allergéniques que la friture ou l'ébullition (Beyer et al., 2001) alors qu'il diminue l'allergénicité de la noisette pour les patients non sensibilisés à Cor a 8 (Hansen et al., 2003).

##### 4.2 Modifications enzymatiques

L'utilisation de protéases hydrolysant les allergènes (et plus particulièrement les épitopes immuno-dominants) permet de produire des aliments hypoallergéniques. La difficulté consiste à déterminer le système enzymatique adéquat pour hydrolyser les épitopes des allergènes tout en évitant la dégradation des autres propriétés. Des exemples ont été rapportés concernant le soja (Meinlschmidt et al., 2016), l'arachide (Chung et al., 2004) ou le blé (Watanabe et al., 2004). La fermentation traditionnelle du soja permet d'obtenir des produits variés d'allergénicité plus ou moins réduite (Moriyama et al., 2013).

##### 4.3 Modifications chimiques (désamidation)

Le fractionnement de la farine de blé permet de produire de l'amidon et du gluten. Le gluten ainsi obtenu conserve ses propriétés viscoélastiques et peut donc être utilisé en tant qu'ingrédient pour renforcer la qualité boulangère des farines ou pour texturer/épaissir de nombreux produits moins traditionnels (viandes, soupes, charcuteries...). Cependant son insolubilité en milieu aqueux ainsi que ses propriétés d'agrégation ne sont pas compatibles avec une utilisation en tant qu'ingrédient dans de nombreux produits. Des modifications chimiques comme par exemple la désamidation permettent d'augmenter sa solubilité et donc de l'incorporer à de nombreuses formulations alimentaires. La désamidation par hydrolyse acide peut transformer tout ou partie des glutamines en acides glutamiques selon les conditions de la réaction. Du gluten désamidé a été produit industriellement et introduit dans des produits alimentaires en remplacement des protéines d'œuf ou de lait mais aussi dans des cosmétiques tels que des savons ou après-shampoings. Leurs dénominations sur les

étiquettes sont variables et pas toujours informatives : protéines de blé, isolats de protéines de blé, hydrolysats de blé ou protéines de blé hydrolysées.

Entre 2000 et 2006, les premiers cas d'allergie de contact ont été décrits en France, en Espagne et en Finlande, après utilisation de cosmétiques contenant du gluten modifié (Lauriere et al., 2006 ; Pecquet et al., 2002 ; Sanchez-Perez et al., 2000 ; Varjonen et al., 2000). De 2009 à 2013, plus de 1900 cas d'allergie au blé ont été décrits, l'ensemble des patients avaient utilisé un savon contenant un hydrolysate acide (Teshima, 2014). Une partie des patients a développé une urticaire de contact puis une AIE lors de la consommation de produits à base de blé. En France, Denery-Papini et al. décrivent 15 cas d'allergie alimentaire liés à l'ingestion de produits contenant des glutens hydrolysés: charcuteries, viandes reconstituées, soupes, gâteaux industriels (Denery-Papini et al., 2012).

En utilisant des sérums de patients allergiques à ces glutens désamidés, Denery-Papini et al. ont montré que tous les patients présentaient des IgE spécifiques des protéines de blé désamidées et une majorité d'entre eux avaient aussi des IgE contre des protéines de blé natives, notamment des gamma- et omega2-gliadines (Denery-Papini et al., 2012). Une analyse plus fine a permis d'identifier l'épitope le mieux reconnu par les patients, il s'agit d'un peptide qui a effectivement été généré au cours de la réaction de désamidation. Des travaux conduits par des équipes japonaises sont arrivés à des conclusions similaires (Yokooji et al., 2013).

L'hydrolyse acide du gluten provoque la désamidation de glutamines, génère des néoépitopes et entraîne ainsi une modification de son potentiel allergène. Les protéines désamidées ont une capacité de sensibilisation supérieure à celle du gluten natif, notamment par voie cutanée et sont à l'origine d'anticorps IgE dirigés contre des épitopes différents de ceux impliqués dans les allergies alimentaires au blé conventionnelles.

## Conclusion

Dans un contexte d'agriculture et d'alimentation durables, la consommation d'une plus grande quantité de protéines végétales est une perspective intéressante pour répondre à la demande mondiale en protéines alimentaires. Les graines, plus riches en protéines sont potentiellement les plus valorisables suivies par les feuilles et les microalgues pour leur volume disponible. La valorisation de ces protéines pour l'alimentation humaine est un véritable challenge qui nécessitera un renouvellement ou une optimisation des procédés industriels actuels. Les protéines subiront des procédés d'extraction plus ou moins drastiques et pour un certain nombre d'entre elles des modifications visant à leur conférer des propriétés fonctionnelles.

L'allergie alimentaire est devenue un problème de santé publique. Les protéines végétales contribuent largement aux allergies alimentaires dont la prévalence est en partie liée aux habitudes de consommation. Une augmentation de la part des protéines végétales dans notre alimentation entraîne un risque d'augmentation de l'allergie à ces protéines qu'il est essentiel d'évaluer ainsi que le risque associé lié aux procédés qui seront mis en œuvre pour produire des protéines de qualité. A l'heure actuelle, aucune méthode pour la prédiction de ce risque n'est disponible, il est donc urgent de mettre en place des stratégies de recherche pour répondre à ce besoin d'évaluation du risque.

## Références bibliographiques

- Alvarez-Alvarez J., Guillamón E., Crespo J.F., Cuadrado C., Burbano C., Rodríguez J., Fernández C., Muzquiz M., 2005. Effects of Extrusion, Boiling, Autoclaving, and Microwave Heating on Lupine Allergenicity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53 (4): 1294–98. doi:10.1021/jf0490145.
- Beyer K., Morrow E., Li X.M., Bardina L., Bannon G.A., Burks A.W., Sampson H.A., 2001. Effects of Cooking Methods on Peanut Allergenicity. *The Journal of Allergy and Clinical Immunology* 107 (6). Elsevier: 1077–81. doi:10.1067/mai.2001.115480.

- Chapman M.D, Pomes A., Breiteneder H., Ferreira F., Pomés A., 2007. Nomenclature and Structural Biology of Allergens. *J Allergy Clin Immunol* 119 (2): 414–20. doi:S0091-6749(06)02324-4 [pii]10.1016/j.jaci.2006.11.001.
- Chung Si-Yin, Maleki S.J., Champagne E.T., 2004. Allergenic Properties of Roasted Peanut Allergens May Be Reduced by Peroxidase. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52 (14): 4541–45. doi:10.1021/jf030808d.
- Crespo J.F., Rodríguez J., James J.M., Daroca P., Reaño M., Vives R., 2002. Reactivity to Potential Cross-Reactive Foods in Fruit-Allergic Patients: Implications for Prescribing Food Avoidance. *Allergy* 57 (10): 946–49. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12269944>.
- Dalal I., Binson I., Reifen R., Amitai Z., Shohat T., Rahmani S., Levine A., Ballin A., Somekh E., 2002. Food Allergy Is a Matter of Geography after All: Sesame as a Major Cause of Severe IgE-Mediated Food Allergic Reactions among Infants and Young Children in Israel. *Allergy* 57 (4): 362–65. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11906370>.
- Denery-Papini S., Bodinier M., Larré C., Brossard C., Pineau F., Triballeau S., Pietri M., et al., 2012. Allergy to Deamidated Gluten in Patients Tolerant to Wheat: Specific Epitopes Linked to Deamidation. *Allergy* 67 (8): 1023–32. doi:10.1111/j.1398-9995.2012.02860.x.
- Dube M., Zunker K., Neidhart S., Carle R., Steinhart H., Paschke A., 2004. Effect of Technological Processing on the Allergenicity of Mangoes (*Mangifera Indica* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52 (12): 3938–45. doi:10.1021/jf030792r.
- Estève-Saillard M., 2016. Tendence de marché en France sur la présence des protéines végétales dans les produits alimentaires. *OCL*, May. EDP Sciences. doi:10.1051/ocl/2016015.
- González de la Peña M.A., Menéndez-Arias L., Monsalve R.I., Rodríguez R., 1991. Isolation and Characterization of a Major Allergen from Oriental Mustard Seeds, Brajl. *International Archives of Allergy and Applied Immunology* 96 (3): 263–70. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1804799>.
- Hansen-Skamstrup K., Ballmer-Weber B.K., Lüttkopf D., Skov P.S., Wüthrich B., Bindslev-Jensen C., Vieths S., Poulsen L.K., 2003. Roasted Hazelnuts--Allergenic Activity Evaluated by Double-Blind, Placebo-Controlled Food Challenge. *Allergy* 58 (2): 132–38. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12622744>.
- Ibáñez Sandín D., Martínez San Ireneo M., Marañón Lizana F., Fernández-Caldas E., Alonso Lebrero E., Laso Borrego T., 1999. Specific IgE Determinations to Crude and Boiled Lentil (*Lens Culinaris*) Extracts in Lentil-Sensitive Children and Controls. *Allergy* 54 (11): 1209–14. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10604559>.
- Lauriere M., Pecquet C., Bouchez-Mahiout I., Snegaroff J., Bayrou O., Raison-Peyron N., Vigan M., 2006. Hydrolysed Wheat Proteins Present in Cosmetics Can Induce Immediate Hypersensitivities. *Contact Dermatitis* 54 (5): 283–89. [http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list\\_uids=16689814](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=16689814).
- Lawrence M.C., IZARD T., Beuchat M., Blagrove R.J., Colman P.M., 1994. Structure of Phaseolin at 2.2 Å Resolution. Implications for a Common Vicilin/legumin Structure and the Genetic Engineering of Seed Storage Proteins. *Journal of Molecular Biology* 238 (5): 748–76. doi:10.1006/jmbi.1994.1333.
- Lollier V., Denery-Papini S., Brossard C., Tessier D., 2014. Meta-Analysis of IgE-Binding Allergen Epitopes. *Clin Immunol* 153 (1): 31–39. doi:S1521-6616(14)00074-6 [pii]10.1016/j.clim.2014.03.010.
- Meinlschmidt P., Sussmann D., Schweiggert-Weisz U., Eisner P., 2016. Enzymatic Treatment of Soy Protein Isolates: Effects on the Potential Allergenicity, Technofunctionality, and Sensory Properties. *Food Science & Nutrition* 4 (1): 11–23. doi:10.1002/fsn3.253.
- Moreno F.J., Clemente A., 2008. 2S Albumin Storage Proteins: What Makes Them Food Allergens? *The Open Biochemistry Journal* 2 (January): 16–28. doi:10.2174/1874091X00802010016.
- Moriyama T., Yano E., Suemori Y., Nakano K., Zaima N., Kawamura Y., 2013. Hypoallergenicity of Various Miso Pastes Manufactured in Japan. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology* 59 (5): 462–69. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24418881>.
- Pastorello Elide A., Pravettoni V., Trambaioli C., Pompei C., Brenna O., Farioli L., Conti A., 2001. Lipid Transfer Proteins and 2S Albumins as Allergens. *Allergy* 56 (s67): 45–47. doi:10.1034/j.1398-

9995.2001.00914.x.

Pecquet C., Lauriere M., Huet S., Leynadier F., 2002. Is the Application of Cosmetics Containing Protein-Derived Products Safe? *Contact Dermatitis* 46 (2): 123. [http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list\\_uids=11918616](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=11918616).

Radauer C., Breiteneder H., 2007. Evolutionary Biology of Plant Food Allergens. *J Allergy Clin Immunol* 120 (3): 518–25. doi:S0091-6749(07)01422-4 [pii]10.1016/j.jaci.2007.07.024.

Radauer C., Bublin M., Wagner S., Mari A., Breiteneder H., 2008. Allergens Are Distributed into Few Protein Families and Possess a Restricted Number of Biochemical Functions. *J Allergy Clin Immunol* 121 (4): 847–52 e7. doi:S0091-6749(08)00163-2 [pii]10.1016/j.jaci.2008.01.025.

Richard C., Jacquenet S., Sergeant P., Moneret-Vautrin D.A., 2015. Cross-Reactivity of a New Food Ingredient, Dun Pea, with Legumes, and Risk of Anaphylaxis in Legume Allergic Children. *European Annals of Allergy and Clinical Immunology* 47 (4): 118–25. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26159477>.

Sanchez-Perez J., Sanz T., Garcia-Diez A., 2000. Allergic Contact Dermatitis from Hydrolyzed Wheat Protein in Cosmetic Cream. *Contact Dermatitis* 42 (6): 360.

Sathe Shridhar K., Liu C., Zaffran V.D., 2016. Food Allergy. *Annual Review of Food Science and Technology* 7 (1). Annual Reviews: 191–220. doi:10.1146/annurev-food-041715-033308.

Savage J., Johns C.B., 2015. Food Allergy: Epidemiology and Natural History. *Immunology and Allergy Clinics of North America* 35 (1): 45–59. doi:10.1016/j.iac.2014.09.004.

Shek Lynette Pei-Chi, Cabrera-Morales E.A., Soh S.E, Gerez I., Pau Zhing Ng, Fong Cheng Yi, Ma S., Bee Wah Lee., 2010. A Population-Based Questionnaire Survey on the Prevalence of Peanut, Tree Nut, and Shellfish Allergy in 2 Asian Populations. *The Journal of Allergy and Clinical Immunology* 126 (2): 324–31, 331.e1–7. doi:10.1016/j.jaci.2010.06.003.

Shewry P.R., Napier J.A., Tatham A.S., 1995. Seed Storage Proteins: Structures and Biosynthesis. *The Plant Cell* 7 (7): 945–56. doi:10.1105/tpc.7.7.945.

Sicherer Scott H., Sampson H.A., 2014. Food Allergy: Epidemiology, Pathogenesis, Diagnosis, and Treatment. *The Journal of Allergy and Clinical Immunology* 133 (2). Elsevier: 291–307; quiz 308. doi:10.1016/j.jaci.2013.11.020.

Tandang-Silvas M.R.G, Fukuda T., Fukuda C., Prak K., Cabanos C., Kimura A., Itoh T., Mikami B., Utsumi S., Maruyam N., 2010. Conservation and Divergence on Plant Seed 11S Globulins Based on Crystal Structures. *Biochimica et Biophysica Acta* 1804 (7): 1432–42. doi:10.1016/j.bbapap.2010.02.016.

Teshima R., 2014. [Food Allergen in Cosmetics]. *Yakugaku Zasshi: Journal of the Pharmaceutical Society of Japan* 134 (1): 33–38. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24389614>.

Van Winkle R.C., Chang C., 2014. The Biochemical Basis and Clinical Evidence of Food Allergy due to Lipid Transfer Proteins: A Comprehensive Review. *Clinical Reviews in Allergy & Immunology* 46 (3): 211–24. doi:10.1007/s12016-012-8338-7.

Varjonen E., Petman L., Makinen-Kiljunen S., 2000. Immediate Contact Allergy from Hydrolyzed Wheat in a Cosmetic Cream. *Allergy* 55 (3): 294–96. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/htbin-post/Entrez/query?db=m&form=6&dopt=r&uid=10753023>.

Verhoeckx K.C.M., Vissers Y.M., Baumert J.L., Faludi R., Feys M., Flanagan S., Herouet-Guichenev C., et al., 2015. Food Processing and Allergenicity. *Food and Chemical Toxicology: An International Journal Published for the British Industrial Biological Research Association* 80 (March): 223–40. doi:10.1016/j.fct.2015.03.005.

Vissers Y.M., Blanc F., Stahl Skov P., Johnson P.E., Rigby N.M., Przybylski-Nicaise L., Bernard H. et al., 2011. Effect of Heating and Glycation on the Allergenicity of 2S Albumins (Ara H 2/6) from Peanut. *PLoS One* 6 (8): e23998. doi:10.1371/journal.pone.0023998.

Watanabe J., Tanabe S., Watanabe M., Shinmoto H., Sonoyama K., 2004. The Production of Hypoallergenic Wheat Flour and the Analysis of Its Allergy Suppressive Effects. *BioFactors (Oxford, England)* 22 (1-4): 295–97. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15630299>.

Yokooji T., Kurihara S., Murakami T., Chinuki Y., Takahashi H., Morita E., Harada S., et al., 2013. Characterization of Causative Allergens for Wheat-Dependent Exercise-Induced Anaphylaxis Sensitized with Hydrolyzed Wheat Proteins in Facial Soap. *Allergol Int.* 2013 Dec;62(4):435-45. doi: 10.2332/allergolint.13-OA-0561.

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 3.0)



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « Innovations Agronomiques », la date de sa publication, et son URL)