

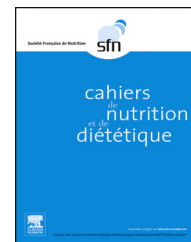


Disponible en ligne sur

ScienceDirect
www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France

EM|consulte
www.em-consulte.com



ALIMENTS

Les protéines végétales : contexte et potentiels en alimentation humaine



Plant proteins: Context and potentialities for human food

Jacques Guéguen^{a,*}, Stéphane Walrand^b,
Oriane Bourgeois^c

^a INRA, UR1268, biopolymères interactions assemblages, 44316 Nantes, France

^b INRA, UMR1019, UNH, CRNH Auvergne, 63000 Clermont-Ferrand, France

^c CVT Allenvi, 28, rue du Dr-Finlay, 75015 Paris, France

Reçu le 14 septembre 2015 ; accepté le 15 janvier 2016

Disponible sur Internet le 17 mars 2016

MOTS CLÉS

Protéines végétales ;
Protéines
ingrédients ;
Durabilité ;
Alimentation
humaine ;
Fonctionnalités ;
Nutrition ;
Procédés ;
Innovations

Résumé Les systèmes alimentaires occidentaux et, a fortiori, leur extension au plan mondial ne sont pas durables. Les experts proposent pour les pays de l'OCDE de rééquilibrer dans notre régime le ratio protéines végétales/protéines animales. Les protéines végétales sont apportées par des aliments traditionnels comme les légumes secs et les produits céréaliers mais aussi par les matières protéiques végétales (MPV). Ces MPV sont issues du fractionnement de graines, feuilles, tubercules et sont utilisées pour leurs propriétés techno-fonctionnelles et/ou nutritionnelles. Les protéines végétales présentent une grande diversité de structures et de propriétés en fonction de leur origine botanique, de leur localisation dans la plante, et des technologies mises en œuvre. Le groupe d'experts du CVT Allenvi a identifié des domaines d'innovation qui pourraient favoriser leur utilisation plus large en alimentation humaine. Des marges de progrès sont possibles à la fois par une exploration systématique des sources de protéines végétales, par une amélioration des procédés de préparation, par une exploitation des complémentarités entre sources protéiques et enfin par une meilleure connaissance des propriétés fonctionnelles et nutritionnelles.

© 2016 Société française de nutrition. Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

KEYWORDS

Vegetable proteins;
Protein ingredient;
Sustainability;

Summary The Western-style food systems and their extent around the world are not sustainable. The experts' proposal for the OECD countries is to better balance in our diet the consumption between animal and plant proteins. Plant proteins are found in traditional foods, like products derived from pulses and cereals, but also in enriched protein materials,

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : gueguen@nantes.inra.fr (J. Guéguen).

Human food;
Functionalities;
Nutrition;
Process;
Innovation

extracted from grains, leaves or tubers. These vegetable proteins enriched products are used as ingredients in foods for their functional and/or nutritional properties. Plant proteins are characterized by a great diversity according to their structure and properties, depending on their botanical origin, their localization in the plant organs and from the applied technological treatments. The working group of Allenvi experts identified innovation potentialities for increasing their uses in human foods. Margins of progress could be reached by more systematic studies of plant resources for their protein potential, by some improvements in the extraction processing, by a better exploitation of the complementarities between different protein sources and last by a better knowledge of the functional and nutritional properties of plant proteins.

© 2016 Société française de nutrition. Published by Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

Le contexte mondial de la consommation humaine de protéines

Des études prospectives récentes sur les évolutions de l'agriculture et de l'alimentation au plan mondial [1,2] font le constat que les systèmes alimentaires occidentaux, et a fortiori leur extension, ne sont pas durables en termes de consommation de ressources, d'impacts sur les écosystèmes et sur les gaz à effet de serre et ont des effets négatifs sur la santé (maladies de civilisation). L'analyse de la structure énergétique des régimes alimentaires montre une convergence nutritionnelle entre tous les pays du monde quels que soient le niveau de vie et les pratiques alimentaires. Comme dans les pays de l'OCDE, l'augmentation du produit intérieur brut des pays en développement se traduit par une consommation accrue de lipides, de glucides simples et de protéines animales. Cette évolution risque d'induire, comme dans de nombreux pays occidentaux, un accroissement de l'obésité et des maladies métaboliques. En outre, l'accroissement de la demande en protéines animales a un coût environnemental majeur. La production de protéines animales comparée à celle de protéines végétales est très consommatrice d'eau [3,4] et génère beaucoup plus de gaz à effet de serre (GES) [5,6].

Dans le contexte d'une forte croissance démographique (8,3 à 10,9 milliards en 2050) et dans une hypothèse tendancielle de la consommation de viande, satisfaire les besoins en protéines animales semble particulièrement difficile. Suivant les tendances actuelles, il faudrait doubler à échéance 2050 la production mondiale de viande [7]. Cet objectif paraît difficile à atteindre si l'on considère que l'alimentation animale consomme déjà environ les 3/4 de la biomasse produite à l'échelle mondiale [8] et que les disponibilités en sols arables et les réserves en gain de rendements sont limitées. Pour produire 1 kg de protéines animales, il faut fournir à l'animal en moyenne pondérée de l'ordre de 4,9 kg de protéines végétales. Même si l'on considère que certaines sources végétales, comme les prairies, les fourrages et certains co-produits de l'agro-industrie, ne sont pas utilisables par l'homme, le rendement de production des protéines reste très défavorable aux protéines animales.

Aussi compte tenu de l'impact de la production de protéines animales sur la consommation des ressources végétales, sur la mobilisation des sols, sur la consommation d'eau et la production des gaz à effet de serre, les experts recommandent de réduire la consommation de produits

animaux, et proposent pour les pays de l'OCDE de rééquilibrer dans notre régime le ratio protéines végétales/protéines animales (PV/PA). Cette évolution semble déjà engagée. En effet, le marché mondial des protéines végétales est en pleine croissance. Si l'on considère les matières protéiques végétales, la progression a été estimée à plus de 40% entre 2013 et 2018. Représentant 7,1 milliards d'euros en 2013, ce marché devrait s'établir à 10 milliards d'euros en 2018 [9]. Les protéines de blé et/ou de soja entrent dans la composition de plus de 90% des nouveaux produits lancés sur le marché en 2013. Malgré le poids écrasant de ces protéines végétales leader, la croissance de la demande permet à des protéines végétales alternatives comme celles de pois et maïs de prendre des parts de marché (respectivement 5 et 3% desancements de nouveaux produits en 2013). Les protéines de riz, colza, pommes de terre, arachide, lupin et chanvre sont émergentes et présentes dans un nombre de produits encore très faible.

Pour anticiper ces évolutions majeures de notre système alimentaire, l'alliance pour l'environnement Allenvi a confié à un groupe de travail pluridisciplinaire (CVT Allenvi), composé de dix experts issus de plusieurs organismes de recherche français, une analyse stratégique collective (ASCO) sur le thème de l'intérêt des protéines végétales pour l'alimentation humaine et animale. Dans cet article, après un état des lieux très général des recherches menées sur ces protéines, nous rapporterons en guise de conclusion le résumé de l'analyse stratégique du CVT Allenvi.

Les protéines végétales dans notre alimentation

Des sources traditionnelles et des fractions enrichies

L'analyse des sources protéiques dans notre alimentation montre qu'en France environ 60% des apports protéiques sont d'origine animale et 40% d'origine végétale. Le PNNS recommande de ramener ce ratio de 40/60 à 50/50.

Les protéines végétales sont apportées principalement par des aliments traditionnels comme les légumes secs (haricot, pois chiche, lentille...) et les produits céréaliers (pain, biscuits, riz...) et de manière plus marginale par les légumes et les fruits (Fig. 1). Elles sont aussi présentes dans des produits frais préparés à partir de soja (tofu, tonyu ou « lait » de soja), dans des plats composés, ou encore dans certaines

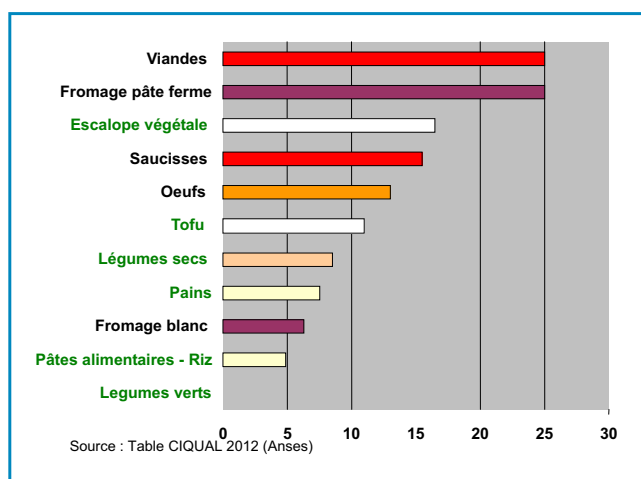


Figure 1. Teneur en protéines ($N \times 6,25$) dans 100 g de divers aliments cuits, prêts à consommer. Table CIQUAL 2012 (Anses).

préparations diététiques ou aliments spécialisés (sportifs, seniors...). Dans ces dernières catégories d'aliments, les protéines végétales sont apportées dans la formule sous forme de matières protéiques végétales (MPV). Ces MPV sont des fractions enrichies en protéines, issues du fractionnement de diverses matières premières, grains (céréales) et graines (légumineuses, oléagineux), tubercules (pomme de terre) ou feuilles (luzerne). Ce marché des MPV est dominé par le soja et le blé (gluten).

On distingue 3 types de MPV suivant leur teneur en protéines : les farines, les concentrés (ou concentrats) et les isolés (ou isolats) dont les teneurs en protéines ($N \times 6,25\% m.s$) sont comprises entre 50 et 65 %, 65 et 90 % et supérieure à 90 % respectivement. Les technologies d'enrichissement sont adaptées en fonction de la structure des organes (graines, feuilles, tubercules) et des propriétés physicochimiques des protéines (solubilité, stabilité thermique...). Les technologies « voie sèche » de type « meunerie » permettent dans le cas des graines amyliacées (blé, pois, féverole...) de séparer les granules d'amidon, plus gros et plus lourds, des corpuscules protéiques, plus petits et plus légers. Ainsi, la turboséparation permet par exemple de préparer des « concentrés » protéiques à partir du pois (45–50 % protéines) et de la féverole (50–60 % protéines). Les technologies « voie humide » exploitent les propriétés de solubilité différentielle des protéines et des autres constituants de la matière première. Ainsi par un lavage hydroalcoolique (éthanol 60 %) ou par un lavage à l'eau à pH acide (pH 4–5) on prépare à partir de farine déshuilée de soja un concentré protéique à 65–75 % de protéines. Les isolés protéiques sont obtenus par extraction des protéines en milieu légèrement alcalin (pH 7,5–8), puis concentration-purification des protéines extraites par précipitation au point isoélectrique (pH 4–5) et/ou ultrafiltration-diafiltration de l'extrait protéique. Cette technologie appliquée au soja et au pois permet de préparer des isolés à 85–92 % de protéines. Des traitements complémentaires (hydrolyse, cuisson-extrusion...) sont quelquefois appliqués à ces MPV pour diversifier leurs propriétés et les optimiser en fonction des utilisations.

Les MPV (farines, concentrés, isolés) sont incorporés dans les formules soit comme ingrédients nutritionnels pour augmenter la teneur en protéines du produit fini, soit comme ingrédients fonctionnels (émulsifiant, moussant, gélifiant) pour mieux maîtriser le procédé de formulation, la

texture et/ou la stabilité physique de l'aliment. D'une manière générale, on observe qu'à l'exception des légumes secs, la teneur en protéines des aliments d'origine végétale (produits céréaliers, feuilles) est inférieure à celle des aliments d'origine animale (produits carnés, fromages, ovo-produits) (Fig. 1). Des innovations technologiques pourraient à l'avenir faire évoluer cette situation comme l'illustre l'exemple du tofu ou de « l'escalope végétale » qui ont des teneurs proches de celle des aliments d'origine animale. Le développement de matières protéiques végétales de 2^e génération, à haute valeur nutritionnelle ou fonctionnelle, est un réel enjeu pour favoriser ces innovations et diversifier les aliments à teneur élevée en protéines végétales. Cet objectif implique de réels efforts de recherche pour exploiter au mieux les ressources végétales disponibles et répondre aux nouveaux enjeux de l'alimentation humaine

Sources de protéines végétales et caractéristiques structurales

La teneur en protéines ($N \times 6,25\% m.s$) des sources végétales varie dans de très larges proportions ; comprise dans les céréales (maïs, riz, blé) entre 8 et 12 %, elle varie généralement entre 20–25 % dans les légumes secs (pois, haricot, lentille) et peut même atteindre 40–45 % dans d'autres graines de légumineuses (lupin, soja...) [10,11]. On trouve des teneurs relativement proches dans les feuilles, par exemple de l'ordre de 15 à 20 % dans la partie aérienne de la luzerne [12] mais plus faible dans les tubercules, de l'ordre de 4 % dans la pomme de terre [13].

On distingue selon leurs propriétés de solubilité 4 grandes familles de protéines : les albumines, solubles dans l'eau, les globulines solubles dans les solutions salines, les prolamines insolubles en milieu aqueux et solubles en solvant hydroalcoolique (60–70 % alcool v/v) et les glutélines solubles en milieu très alcalin (pH > 10). Les globulines sont surtout présentes (60–90 % des protéines) dans les graines de dicotylédones (légumineuses, oléagineux) tandis que les prolamines et les glutélines sont les protéines majeures des céréales (80–90 %).

Les globulines, les prolamines et les glutélines sont des protéines de réserve, qui ont pour fonction de stocker dans la graine le carbone et surtout l'azote mobilisable au moment de la germination. Cette fonction leur confère des caractéristiques très particulières de composition en acides aminés, avec des teneurs anormalement élevées en amides (glutamine, asparagine). Ainsi, dans les prolamines du blé appelées gliadines, les résidus glutamine représentent plus du tiers des résidus d'acides aminés de ces protéines. On note dans les globulines une forte teneur en arginine. Les albumines, en général mieux équilibrée en acides aminés, ont principalement un rôle métabolique (enzymes, transporteurs, protéines de stress...), ou un rôle de défense (inhibiteurs d'enzymes, lectines, protéines entomotoxiques, antifongiques, antimicrobiennes...). Cependant, on trouve aussi dans cette famille, et pour certaines espèces végétales (crucifères, noix...) des protéines majeures, de type 2S, qui ont également une fonction de réserve. Dans les feuilles et les tubercules les protéines de réserve ne sont pas présentes ; on a principalement des protéines métaboliques, comme par exemple, la ribulose biphosphate carboxylase (RuBP) enzyme majeure du système photosynthétique dans les feuilles

Ces différentes familles de protéines présentent aussi des différences importantes de structure. Les globulines

Tableau 1 Principales classes structurales de protéines de réserve dans des graines de dicotylédones et exemple de nomenclature.

	Soja	Pois	Lupin	Colza	Tournesol	Lin
Albumine 2S	α -conglycinine	PA1	Conglutine- δ	Napine	SFA	Conlinine
Globuline 7S	β -conglycinine	Viciline	Conglutine- β	—	—	—
Globuline 11/12S	Glycinine	Légumine	Conglutine - γ	Cruciférine	Hélianthinine	Linine

sont des protéines oligomériques, globulaires et compactes et de poids moléculaire assez élevé. On distingue deux principales familles structurales en fonction de leur coefficient de sédimentation : les protéines de type 11–12S, hexamériques (300–360 kDa) et les protéines de type 7S, trimériques (150–180 kDa). Les protéines 11–12S sont présentes majoritairement dans la plupart des graines de dicotylédones (légumineuses, oléagineux) tandis que les protéines 7S sont principalement représentées dans les graines de légumineuses (pois, soja, haricot, fève...). Ces protéines possèdent des appellations différentes suivant les espèces (Tableau 1) mais présentent au sein de chaque famille de grandes similarités de structure et de propriétés physicochimiques.

Les prolamines des céréales sont des protéines non globulaires, constituées d'une seule chaîne polypeptidique, et possédant un très grand polymorphisme. Dans le cas du blé, on distingue les α , β , γ , et ω gliadines dont les poids moléculaires sont compris entre environ 30 kDa et 80 kDa. Les gluténines de blé sont des protéines de très haut poids moléculaire, de 100 kDa à plusieurs millions, constituées de sous-unités reliées entre elles par des ponts disulfures. L'analyse des séquences de prolamines et des sous-unités gluténines fait apparaître l'existence de séquences répétitives très riches en glutamine et proline, dont certaines sont très impliquées dans la maladie cœliaque.

La famille des albumines est très hétérogène ; elle est composée d'une multitude de protéines, souvent mineures quantitativement, de fonctions biologiques très diverses et dont certaines peuvent avoir un impact nutritionnel. On y trouve en particulier les inhibiteurs de protéases susceptibles de se complexer aux protéases digestives, trypsine et chymotrypsine, les lectines dont certaines créent des lésions au niveau intestinal, et certaines enzymes d'oxydo-réduction (lipoxygénase, peroxydases, polyphénoloxydases...) capables de générer des produits d'oxydation au cours des transformations. Il existe environ une dizaine de familles d'inhibiteurs de protéases chez les plantes [14]. Dans le cas des graines de légumineuses, où ils sont les plus représentés, ils appartiennent principalement à la famille des inhibiteurs de type Bowman-Birk (BBI) et de type Kunitz (Kz). On trouve également une forte activité antiprotéases dans les protéines de pomme de terre (potato I, potato II) [13]. Les lectines sont particulièrement présentes dans les graines de légumineuses [15,16]. Leurs effets physiologiques chez l'homme sont dus à leur capacité à interagir avec les glycoprotéines à la surface des villosités intestinales, entraînant une réduction de l'absorption des nutriments ou même des lésions de l'épithélium intestinal. Ces effets sont variables en fonction de leur origine botanique. Comme les inhibiteurs de protéases, les lectines sont résistantes à l'hydrolyse et relativement thermostables. Les traitements thermiques utilisés conventionnellement (cuisson, autoclavage, extrusion) sont cependant, en général, suffisants pour les inactiver [16].

Les protéines de réserve de type 2S sont des protéines de faible masse moléculaire (10–15 kDa), globulaires et compactes, souvent thermostables en raison de ponts disulfures intercaténaux. On les trouve en quantité majeure dans les graines de crucifères (colza, moutarde) et les noix (noix du Brésil, noix cajan...).

Les homologies de séquence et de structure au sein d'une même classe de protéines (12S, 7S, 2S, prolamines...) expliquent certaines similitudes de propriétés physicochimiques (agrégation, dissociation, température de dénaturation thermique, interactions...), fonctionnelles (gélification, propriétés tensioactives, filmogènes...) ou nutritionnelles entre les protéines homologues de différentes espèces botaniques. Toutefois, même si ces similitudes de comportement existent, il ne faut pas minimiser les différences entre protéines homologues issues d'espèces botaniques différentes. Elles sont dues à des singularités structurales comme des différences de charges, d'hydrophobicité de surface, de glycosylation. Les exemples sont nombreux qui montrent des différences de propriétés entre les prolamines de différentes céréales, entre globulines 2S ou 7S de différentes légumineuses ou d'oléagineux. Ces différences expliquent en grande partie les spécificités d'usage.

Les modifications de la structure native en fonction des conditions de milieu et de traitements induisent aussi des comportements physicochimiques et des propriétés nutritionnelles et fonctionnelles variables. Il faut prendre en compte l'impact des opérations de fractionnement des matières premières, de mélange des ingrédients, et de formulation et de cuisson de l'aliment. Le fractionnement peut générer des différences de la composition relative en familles protéiques. Les opérations de formulation de l'aliment peuvent (i) modifier la teneur et la composition en protéines dans le produit fini, (ii) favoriser ou non des interactions entre les protéines et d'autres macro et micronutriments. Les traitements thermiques en modifiant la structure des protéines, ont souvent un effet majeur sur leurs propriétés fonctionnelles et nutritionnelles. Ils peuvent, par exemple, accroître la susceptibilité à l'hydrolyse de protéines globulaires en rendant plus accessibles les sites de coupure par les protéases digestives [17]. À l'inverse, des traitements thermiques trop drastiques peuvent nuire à la digestibilité de certains acides aminés [18].

Propriétés fonctionnelles : potentiels et verrous

Les protéines végétales comme les protéines animales ont très souvent un rôle fonctionnel pour conférer à l'aliment sa texture et ses propriétés organoleptiques. On peut citer parmi les produits traditionnels de grande consommation le pain et les pâtes dont la qualité dépend étroitement des propriétés viscoélastiques des protéines du blé. L'utilisation

des MPV est à associer aux efforts d'innovation des deux dernières décennies qui ont contribué à développer des aliments « prêts à cuisiner » en réponse à la demande des consommateurs. Les besoins de formulation ont généré une demande croissante pour ces ingrédients fonctionnels capables de former et stabiliser des aliments de composition complexe et multiphasiques.

Le secteur des produits carnés et de la boulangerie-vienniserie-pâtisserie (BVP) sont des marchés bien établis pour les matières protéiques végétales. Dans les BVP, on utilise souvent le gluten de blé pour ses propriétés viscoélastiques tandis que dans les formulations à base de viande, il s'agit en général de protéines de soja sous forme texturée. En parallèle de ces marchés matures, de nouveaux domaines d'application ont émergé pour les protéines végétales, comme ceux des desserts, des produits diététiques, des produits sans gluten, des aliments pour végétariens ou flexitariens.

La composition des MPV en différents types de protéines (albumines, globulines, prolamines, glutélines) influe fortement sur leurs utilisations comme ingrédient fonctionnel. Les protéines de soja et pois, riches en albumines et globulines, caractérisées par de bonnes propriétés émulsifiantes, moussantes et gélifiantes sont largement utilisées dans les produits carnés, les desserts et les produits traiteurs. Les protéines de blé (gluten), insolubles dans l'eau et capables de former un réseau viscoélastique, sont utilisées comme ingrédient texturant dans les utilisations BVP et certains produits carnés.

Les études de relation structure – propriétés fonctionnelles sont nombreuses dans le cas des protéines végétales. Ces travaux montrent que les leviers permettant de faire varier ces propriétés sont à la fois génétiques et technologiques. Les protéines de réserve présentent, en effet, un grand polymorphisme et il existe une forte variabilité génétique des proportions relatives des différentes familles protéiques et de la composition en sous-unités des différentes classes structurales. Il est donc possible d'exploiter cette variabilité pour optimiser les propriétés. Dans le cas du blé, plusieurs études ont montré que les variations alléliques des sous-unités gluténines de haut poids moléculaires (HMW-GL) et de faible poids moléculaires (LMW-GL) entraînent des différences de propriétés technologiques des farines [19]. Dans le cas du soja, des études récentes ont montré l'influence de la composition en sous-unités des protéines 7S et 11S sur la stabilité du tonyu (« lait de soja ») et sur les propriétés rhéologiques du tofu [20,21].

Les conditions de préparation sont aussi déterminantes quant aux propriétés fonctionnelles des MPV par leur taux d'enrichissement en protéines et leurs effets plus ou moins dénaturants [22]. Ainsi, les technologies « concentrées » par voie « sèche » (turboséparation) respectent le caractère natif des protéines de la graine alors que les technologies par lavage hydroalcoolique dénaturent partiellement ces protéines. Dans les technologies « isolées », la fonctionnalité dépend des conditions d'extraction et de concentration des protéines extraites. Les techniques à membrane sont moins dénaturantes. Les étapes finales de prétraitement avant séchage (neutralisation, concentration, traitement thermique modéré, hydrolyse ménagée...) et de séchage influent également de manière très importante sur la fonctionnalité de l'isolé [23].

D'une manière générale, des efforts de recherche peuvent être faits dans ces deux domaines, génétique et technologique, pour améliorer la fonctionnalité des MPV. À l'exception du blé, la génétique s'est peu intéressée

à la relation entre la composition protéique, le polymorphisme des protéines et leur fonctionnalité technologique pour les utilisations en alimentation humaine. De même des innovations sont possibles dans le domaine des procédés de fabrication, soit pour enrichir les MPV en protéines fonctionnelles par des technologies de fractionnement, soit pour mieux maîtriser l'impact des traitements sur la conformation des protéines et donc in fine sur leurs caractéristiques fonctionnelles et nutritionnelles. Dans ces études, il ne faut pas négliger l'intérêt des interactions entre les protéines végétales et d'autres biopolymères, protéines ou polysaccharides, pour engendrer de nouvelles propriétés fonctionnelles [24,25]. Tous ces domaines potentiels d'innovations ont été privilégiés dans l'étude du CVT Allenvi.

Propriétés nutritionnelles : potentiels et verrous

La valeur nutritionnelle d'une source protéique est communément définie par sa capacité à fournir des acides aminés pour la croissance de notre organisme et le renouvellement de nos protéines corporelles. Cette capacité dépend de deux phénomènes interdépendants. Le premier est la biodisponibilité de la protéine, c'est-à-dire la proportion des acides aminés disponibles au niveau tissulaire après les processus de digestion et d'absorption. Le second est l'efficacité de ces acides aminés à être utilisés pour répondre aux besoins spécifiques des tissus de l'organisme.

Les protéines de source animale sont, au regard des besoins humains, mieux équilibrées en acides aminés, en particulier en acides aminés indispensables. L'un des critères souvent utilisé est le PDCAAS (protein digestibility corrected amino acid score) [26] qui rend compte de la composition en acides aminés indispensables. Il est défini par la formule suivante :

$$\text{PDCAAS (\%)} = \frac{[\text{mg d'acide aminé limitant dans 1 g de la protéine testée}]}{[\text{mg du même acide aminé dans 1 g de la protéine de référence} \times \text{digestibilité fécale vraie (\%)} \times 100]}.$$

La plupart des protéines animales (viande, œuf, lait) ont un PDCAAS proche ou supérieur à 100% alors que les protéines végétales présentent des scores plus faibles [27]. Pour les farines de céréales, il est proche de 40 pour le blé et le maïs, et de 53 pour le riz. Dans le cas des graines crues de légumineuses, les valeurs sont du même ordre de grandeur. Pour la graine de soja le PDCAAS est de 54%. Ces valeurs assez faibles sont dues aux déficiences en certains acides aminés indispensables, la lysine dans le cas des céréales, les acides aminés soufrés pour les légumineuses. Certaines sources mieux équilibrées en acides aminés possèdent un PDCAAS plus élevé comme le quinoa (79%) et la pomme de terre (81%).

Il existe, néanmoins, un effet majeur des procédés de transformation sur la digestibilité des protéines de source végétale. Les traitements thermiques (cuisson, autoclavage) ou thermomécaniques (extrusion) mais aussi la fermentation permettent d'augmenter significativement le PDCAAS. Ainsi, le PDCAAS de la farine crue de haricot rouge évolue de 28 à 55% par un traitement de cuisson micro-onde et à 64% par fermentation. Les traitements de chauffage à sec sont peu efficaces. Le PDCAAS du soja passe de 54% dans la graine à 80% dans la farine déshuilée et toastée et à 101% dans l'isolé protéique. Ces améliorations de la digestibilité s'expliquent à la fois par l'inactivation de certains facteurs anti-nutritionnels (inhibiteurs de protéases, lectines) mais

Tableau 2 Digestibilité iléale réelle de différentes protéines végétales chez l'homme. Mariotti et Tomé [29].

Protéines		Digestibilité iléale réelle (%)
Origine	Forme	
Lupin	Farine	91
Soja	Isolé	91–92
Pois	Isolé ^a	90
	Globulines	94
Lait	Protéines purifiées	95
Oeuf	Blanc (cuit)	91
	Blanc (cru)	51

^a Globulines et albumines en proportion d'origine.

aussi par l'effet des procédés sur la structure globulaire des protéines en facilitant l'accès aux sites de protéolyse.

En dehors de la composition en acides aminés, d'autres critères doivent donc être pris en considération tels que la digestibilité de la protéine, la biodisponibilité des acides aminés libérés mais aussi leur valeur biologique qui reflète l'efficacité d'utilisation des acides aminés absorbés [28,29]. La plupart de ces données ont été obtenues chez l'animal en croissance et non chez l'homme chez qui les besoins sont différents suivant l'âge (croissance, maintenance, vieillissement), la situation physiopathologique et le niveau d'activité. Dans leur revue, Mariotti et Tomé [28] signalent que les protéines de lupin et pois ont une digestibilité iléale réelle similaire à celle des protéines de soja et que la digestibilité de ces protéines de légumineuses est très proche de celle des protéines animales de référence (Tableau 2). Les globulines purifiées de pois sont caractérisées par une digestibilité iléale réelle très élevée (94%) comparable à celle des protéines purifiées de lait. Même si le PDCAAS est reconnu par la FAO, ces données expérimentales montrent donc les limites de cet index comme seul critère d'évaluation de la qualité alimentaire des protéines végétales.

L'existence de complémentarités entre les sources protéiques doit également être prise en considération. Cette complémentarité protéique, dont les répercussions nutritionnelles ont été très peu étudiées jusqu'ici, peut être atteinte, par exemple, par un mélange de protéines végétales comme des protéines de céréales et de légumineuses, ou encore par un mélange de protéines végétales et de protéines animales [30]. Ainsi, mélanger des protéines de céréales (blé, maïs, seigle, orge...) ou des protéines laitières avec des protéines de légumineuses permet de compenser le déficit en méthionine de ces dernières. L'utilisation de mélanges de protéines de blé (déficitaires en lysine et thréonine) et de légumineuses (déficitaires en acides aminés soufrés) au sein de pâtes alimentaires permet d'enrichir cet aliment en protéines et d'en améliorer la composition en acides aminés indispensables [31].

En outre, la spécificité de composition en acides aminés des protéines, non considérée par les scores chimiques, peut avoir des effets bénéfiques sur la santé de certains groupes de consommateurs. On évoque, par exemple, les effets hypocholestérolémiants des protéines végétales en lien avec le rapport arginine/lysine [32] ou leurs effets anti-inflammatoires dans la phase post-prandiale [33]. Camilleri et al. [34], dans une approche très globale de la qualité de la diète, définissent un index probabiliste (PANDiet) basé sur la probabilité que les apports alimentaires soient

correctement adaptés aux besoins. Ces scientifiques discriminent, par cette approche, l'effet relatif des protéines animales et végétales sur la santé. Une relation positive entre la consommation de protéines végétales et la santé des sujets est ainsi observée. Cet effet pourrait être expliqué par la nature même de ces protéines, aux effets biologiques de certaines d'entre elles mais aussi aux constituants non protéiques associés aux MPV (antioxydants, fibres...) et/ou aux interactions au sein de la matrice alimentaire. La présence de différents types de fibres souvent associées aux MPV (farines, concentrés) induit des modifications métaboliques et physiologiques des flux d'azote dans l'organisme [35]. Les effets induits par les procédés de transformation sont aussi rarement considérés. De nombreux paramètres restent donc encore inconnus pour expliquer les atouts et limites des sources protéiques végétales dans l'alimentation. La biodisponibilité, la vitesse de libération et de distribution métabolique des acides aminés issus de ces protéines sont des facteurs importants de leur valeur alimentaire. Or, ces paramètres sont actuellement peu connus dans le domaine des protéines végétales.

Les sources protéiques végétales pourraient aussi être intéressantes dans des situations où les besoins protéiques sont augmentés mais où les apports en produits d'origine animale doivent être contrôlés comme par exemple chez les sujets âgés. Pour cette population, la perte significative de la masse et de la fonction musculaire, appelée sarcopénie, est associée à une augmentation des besoins en protéines. Le vieillissement impose aussi la nécessité de contrôler la consommation de graisses saturées et de cholestérol et d'optimiser l'apport en micronutriments. Dans une telle situation, un intérêt particulier pour les sources alimentaires végétales, pauvres en lipides et riches en micro-constituants, apparaît. Au-delà de l'aspect quantitatif, le rythme, la vitesse d'administration des protéines et leur association à des nutriments non protéiques peuvent faciliter ou limiter leur assimilation et leur utilisation.

Enfin, il faut mentionner parmi les limites à l'utilisation de certaines protéines végétales les intolérances et/ou les allergies de certains consommateurs. Ce n'est pas à proprement parlé une spécificité des protéines végétales puisque de tels effets sont aussi connus dans le cas des protéines animales. En ce qui concerne les intolérances, il faut mentionner plus particulièrement les protéines de blé (gluten) responsables de la maladie cœliaque. Concernant les allergies, la directive européenne 2003/89/CE impose un étiquetage obligatoire pour 14 ingrédients, parmi lesquels on dénombre 8 sources végétales : les céréales, l'arachide, le soja, les noix, le céleri, la moutarde, le sésame et le lupin. La prévalence à ces allergies alimentaires varie fortement en fonction des sources et de l'âge [36]. Les régions peptidiques responsables de la maladie cœliaque ainsi que les principaux allergènes et épitopes ont été identifiés. Par contre, les mécanismes d'action sont encore assez mal connus [37].

Potentiel d'innovation : les conclusions du CVT Allenvi (<http://www.cvt-allenvi.fr/>)

Le groupe d'experts du CVT Allenvi s'est appuyé sur cet état des lieux pour identifier les domaines d'innovation qui pourraient améliorer la qualité des protéines et favoriser une utilisation plus large en alimentation humaine. Il a identifié des marges de progrès significatives à la fois par :

- une exploration plus systématique des nombreuses sources de protéines végétales ;
- une amélioration des procédés de préparation ;
- une exploitation des complémentarités entre sources protéiques et avec d'autres biopolymères dans la formulation des aliments ;
- une amélioration des connaissances pour une meilleure maîtrise des propriétés fonctionnelles et nutritionnelles.

Quelles seront les sources de protéines végétales à l'horizon 5–10 ans ? Et pour quel marché ?

Le marché mondial des protéines connaît actuellement une croissance forte qui devrait se poursuivre dans les années à venir, tirée en termes de volumes par la demande mondiale en aliments pour animaux. Ainsi, la demande mondiale de viande devrait s'accroître d'environ 30 % à l'horizon 2030 [38]. Concernant le marché des protéines végétales pour l'alimentation humaine, les estimations de Frost et Sullivan (2012) [39] prévoient une croissance moyenne annuelle supérieure à 5 % sur la période 2008–2018. Ce contexte favorable devrait générer de véritables opportunités de développement pour des sources de protéines végétales alternatives :

- des sources locales au Nord (pois, féverole, lupin, sarrasin...) comme au Sud (toutes les sortes de haricots, riz, quinoa, sorgho...);
- des sources riches en lipides (noix, arachide, colza...), permettant à la fois la valorisation de l'huile et de la fraction « protéines » ;
- des sources riches en amidon (pomme de terre, manioc...) dont la teneur en protéines est certes faible, mais les volumes produits très importants ;
- plus exploratoires, des sources telles que les champignons, les algues, les micro-algues, les micro-organismes, les plantes aquatiques, les insectes.

Aujourd'hui, en alimentation humaine, le marché des protéines végétales est essentiellement tiré par la substitution de protéines d'origine animale, afin de diminuer le coût des aliments ou pour exploiter des propriétés fonctionnelles ou nutritionnelles particulières. On retrouve les protéines végétales essentiellement dans des produits transformés à base de viande ou de poisson mais aussi de plus en plus sur le marché du snacking qui devrait croître encore à l'avenir. L'autre tendance forte concerne le domaine de la nutrition-santé. On peut signaler ainsi, en termes de potentiel de marché :

- l'alimentation végétarienne et « flexitarienne » ;
- l'alimentation sans gluten ;
- la nutrition des sportifs ;
- le contrôle du poids corporel ;
- la nutrition infantile ;
- la nutrition des seniors.

L'analyse des brevets déposés par les industriels concernant l'utilisation des protéines végétales en alimentation humaine complète cet éclairage. Les thèmes les plus représentés concernent la nutrition infantile, le contrôle du poids corporel, mais aussi l'immunité. La nutrition des seniors et l'augmentation de l'appétit des seniors, des personnes malades apparaissent aussi comme des domaines d'intérêt en forte croissance, tandis que la santé des os et le renforcement musculaire sont des thèmes émergents.

Quels enjeux en termes de recherche et de R & D ?

Pour satisfaire ces opportunités de marché pour les protéines végétales de nombreux verrous scientifiques et techniques doivent être levés et de vrais défis se posent à la recherche académique et à la recherche et développement du secteur privé. Le groupe d'experts du CVT Allenvi s'est donc aussi attaché à dégager des axes d'innovation qu'il a jugés prioritaires à 5–10 ans.

Axe 1 : améliorer la compétitivité des plantes à forte teneur en protéines

L'atout de la France sur les sources de protéines végétales alternatives réside dans son savoir-faire sur les cultures de protéagineux telles que le pois, la féverole et le lupin. Les enjeux sont de stabiliser et d'améliorer les rendements et la composition protéique de ces plantes à forte teneur en protéines.

L'objectif sur ces plantes est d'améliorer l'efficacité des mécanismes de fixation de l'azote et d'optimiser la composition protéique de la graine en fonction des usages (teneur globale en protéines ou teneur spécifique en certaines fractions protéiques fonctionnelles, précurseurs des goûts désagréables et « off-flavors », polyphénols...).

Cela implique de poursuivre les efforts de recherche publique et privée en génétique et amélioration variétale, en agronomie et en gestion des systèmes de cultures.

Axe 2 : améliorer les performances des protéines végétales du point de vue de leurs propriétés organoleptiques, fonctionnelles et physicochimiques, nutritionnelles

Les protéines végétales présentent des propriétés organoleptiques, fonctionnelles souvent inférieures à celles des protéines animales de référence (lait, ovoproduits). L'enjeu majeur est de les améliorer en exploitant la diversité génétique des espèces végétales et en optimisant la fonctionnalité des protéines dans les matrices alimentaires. Au plan nutritionnel, des connaissances doivent être acquises pour mieux cerner les propriétés biologiques des protéines végétales, de leurs hydrolysats, et des autres constituants présents dans les MPV.

Pour l'alimentation humaine, trois axes de recherche pourraient être privilégiés :

- diversité génétique et polymorphisme des protéines, source potentielle de protéines fonctionnelles ;
- fonctionnalité des protéines dans les matrices alimentaires (émulsion, mousses, gels), interactions avec les autres biopolymères et micro-constituants ;
- nutrition-santé : métabolisme protéique et impact sur le développement musculaire, le contrôle du poids, la santé des os, la régulation de l'appétit ; impact des constituants non protéiques (antioxydants, fibres) ; système immunitaire et intolérance/allergie.

Pour l'alimentation animale, le CVT Allenvi a retenu également trois axes de recherche :

- digestibilité des protéines chez les monogastriques (porcs, volailles) et polygastriques (ruminants) : impact sur les rejets azotés ;
- nouveaux usages en aquaculture et pour les animaux de compagnie ;

- effets biologiques des protéines végétales et des hydrolysats chez les jeunes animaux.

Axe 3 : à plus long terme (au-delà de 10 ans) : des opportunités pour de nouvelles sources de protéines végétales ; algues, micro-algues, cultures locales

Une meilleure caractérisation compositionnelle, structurale et fonctionnelle de ces protéines est nécessaire pour accompagner et dynamiser ce secteur d'innovation.

Concernant les procédés, l'innovation est déjà engagée, à la fois par la recherche publique et l'industrie. De nouveaux procédés de fractionnement (protéines/lipides/polysaccharides) pourraient être développés.

Ces recherches devraient inclure des travaux sur les micro-organismes et les insectes.

Axe 4 : maîtriser l'impact des procédés de préparation des ingrédients protéiques sur leur fonctionnalité

Au cours des procédés de préparation, les protéines subissent des modifications structurales, qui les rendent souvent irréversiblement insolubles et peu fonctionnelles. Des recherches doivent être engagées pour maîtriser ces dénaturations. Un effort doit également être effectué par la recherche publique pour réduire les mauvais goûts.

En résumé, quatre objectifs de recherche peuvent être identifiés :

- maîtriser l'agrégation et la dénaturation des protéines au cours du process, préjudiciables aux propriétés fonctionnelles ;
- résoudre les problèmes de goût désagréable ;
- améliorer la maîtrise des procédés pour (1) produire des ingrédients protéiques de qualités fonctionnelles et nutritionnelles constantes et (2) élargir la gamme de fonctionnalité des ingrédients en exploitant les relations structures-fonctionnalités ;
- développer des procédés innovants, transposables industriellement, (fractionnement des tissus végétaux, des protéines et peptides, hydrolyse, fermentation...) pour générer des ingrédients mieux adaptés aux exigences du marché aux plans fonctionnels et nutritionnels.

Axe 5 : améliorer l'efficacité des procédés pour les rendre plus « durables »

Trois problématiques de recherche ont été dégagées :

- économiser l'eau et l'énergie ;
- simplifier les procédés pour répondre aux souhaits de naturalité des produits et diminuer les coûts ;
- augmenter les rendements de récupération des protéines végétales.

Axe 6 : développer des mix protéiques permettant d'innover en formulation

L'amélioration de la qualité organoleptique et nutritionnelle des aliments implique d'exploiter au mieux la complémentarité des différentes sources protéiques, végétales et/ou animales, en développant des mix protéiques. Ces innovations doivent permettre de mieux répondre à la demande segmentée des différentes catégories de population. Sur la base des acquis en système modèle simple, deux domaines de recherche peuvent être proposés :

- explorer les propriétés fonctionnelles de protéines d'origines diverses en mélange (différentes espèces végétales ou végétal+animal) et identifier les systèmes les plus performants pour stabiliser les matrices alimentaires multiphasiques. Élargir les travaux aux interactions protéines végétales-polysaccharides et protéines végétales-polyphénols ;
- explorer les propriétés nutritionnelles de ces mix protéiques, seuls ou dans diverses matrices alimentaires.

Axe 7 : développer des aliments adaptés aux besoins spécifiques de certaines populations : sportifs, personnes souffrant d'obésité, enfants, seniors...

Le développement de nouveaux aliments protéiques à base de protéines végétales nécessite de tenir compte de la modification des besoins et/ou des apports en fonction des situations physiopathologiques variables des consommateurs. Les efforts de recherche devront tenir compte de cette diversité des besoins, des effets matrices et procédés sur la biodisponibilité des acides aminés.

Remerciements

Remerciements aux experts ayant contribué à l'étude d'Allenvi en plus des co-auteurs :

J.-P. Bergé (Ifremer), J-M Chardigny (Inra), G. Duc (Inra), C. Esnouf (Inra), S. Guilbert (CPU – UMR IATE/Montpellier Supagro), R. Kapel (CNRS-Insis/LRGP), M. Lessire (Inra), C. Michon (UMR1145 Génial, AgroParisTech/Inra).

Déclaration de liens d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêts.

Références

- [1] Dorin B, Treyer S, Paillard S. Agrimonde. Scenarios and challenges for feeding the world in 2050. Paris: Editions Quæ; 2011. <http://www foresight-platform.eu/brief/efp-brief-no-196-agrimonde/> [Accessed 18 Oct 2013].
- [2] Esnouf C, Russel M, Bricas N. Pour une alimentation durable. Réflexion stratégique du ALIne. Paris: Ed. Quæ; 2011. p. 1–288. <http://www.cirad.fr/publications-ressources/edition/etudes-et-documents/dualine>.
- [3] Pimentel D, Pimentel M. Sustainability of meat-based and plant-based diets and the environment. *Am Clin Nutr* 2003;78:6605–35.
- [4] Aiking H. Future protein supply. *Review. Trends Food Sci Technol* 2011;22:112–20.
- [5] Kling M, Hough I. The American carbon food print: understanding your food's impact on climate change. Shellburne (USA): Brighter planet Inc; 2010. p. 1–17.
- [6] Tukker A, Huppes G, Guinée JB, Heijungs R, Koning AD, Oers LV, et al. Environmental Impact of products (EIPRO). Analysis of the life cycle environmental impacts related to the final consumption of the EU-25 Brussels: European Commission. Joint Research centre Institute for prospective technological studies. 5 technical report Series EUR 22284(EN); 2006. p. 1–136.
- [7] Steinfeld H, Gerber P, Wassenaar T, Castel V, Rosales M, De Haan C. Livestock's long shadow: environmental issues and options. Rome, Italy: FAO; 2006. p. 1–390 [xxiv].

- [8] Raschka A, Carus M. Industrial material use of biomass. Basic data for Germany. In: Europe and the world. Nova Institute; 2012 http://www.nova-institut.de/download/Industrial_Material_Use_of_Biomass_nova.
- [9] Business Insight. Global protein ingredient market by value, 2012–2018. In: Communication au CVT Allenvi. 2014.
- [10] Guéguen J, Lemarié J. Composition, structure et propriétés physicochimiques des protéines de légumineuses et d'oléagineux. In: «Protéines végétales». Ed. B. Godon, Lavoisier; 1996. p. 80–119.
- [11] Popineau Y. Propriétés biochimiques et physicochimiques des protéines de céréales. In: «Protéines végétales». B. Godon Lavoisier; 1985. p. 161–210.
- [12] Colas D, Doumeng C, Pontalier PY, Rigal L. Twin-screw extrusion technology, an original solution for the extraction of protein from alfalfa (*Medicago sativa*). *Food Bioprod Process* 2013;91:175–82.
- [13] Ralet MC, Guéguen J. Les protéines de pomme de terre : composition, isolement et propriétés fonctionnelles. *Sci Alim* 1999;19:147–65.
- [14] Richardson M. In: Rogers L, editor. *Methods in plant biochemistry*. London: 5 Academic Press; 1991. p. 261–307.
- [15] Liener IE. Plant lectins: properties, nutritional significance and function. In: Shahidi F, editor. *Antinutrients and phytochemicals in food*. Washington D.C: American Chemical Society; 1997. p. 31–43.
- [16] Gulewicz P, Martinez-Villaluenga C, Kasprovicz-Potocka M, Frias J. Non-nutritive compounds in fabacæ family seeds and the improvement of their nutritional quality by traditional processing – a review. *Pol J Food Nutr Sci* 2014;64(2):75–89.
- [17] Montoya CA, Lallès JP, Beebe S, Montagne L, Souffrant WB, Leterme P. Influence of the *phaseolus vulgaris* phaseolin level of incorporation, type and thermal treatment on gut characteristics in rats. *Br J Nutr* 2006;95:116–23.
- [18] Sarwar Gilani G, Wu Xiao C, Cockell KA. Impact of antinutritional factors in food proteins on the digestibility of protein and the bioavailability of amino acids and on protein quality. *Br J Nutr* 2012;108:S135–332.
- [19] Branlard G, Dardevet M, Saccomano R, Lagoutte F, Gourdon J. Genetic diversity of wheat storage proteins and bread wheat quality. *Euphytica* 2001;119:59–67.
- [20] Malaki Nik A, Tosh SM, Woodrow L, Poysa V, Corredig M. Effect of soy protein subunit composition and processing conditions on stability and particle size distribution of soymilk. *LWT-Food Sci Technol* 2009;42:1245–50.
- [21] Malaki Nik A, Alexander M, Poysa V, Woodrow L, Corredig M. Effect of soy protein subunit composition on the rheological properties of soymilk during acidification. *Food Biophys* 2011;6:26–36.
- [22] Boye J, Zare F, Pletch A. Review: pulse proteins: processing, characterization, functional properties and applications in food and feed. *Food Res Int* 2010;43:414–31.
- [23] Taherian AR, Mondor M, Labranche J, Drolet H, Ippersiel D, Lamarche F. Comparative study of functional properties of commercial and membrane processed yellow pea protein isolates. *Food Res Int* 2011;2011(44):2505–3251.
- [24] Schmidt I, Novales B, Boué F, Axelos MAV. Foaming properties of protein/pectin electrostatic complexes and foam structure at nanoscale. *J Coll Interfaces Sci* 2010;345:316–24.
- [25] Schwartz JM, Solé V, Guéguen J, Ropers MH, Riaublanc A, Anton M. Partial replacement of β -casein by napin, a rapeseed protein, as ingredient for processed foods: thermoreversible aggregation. *LWT-Food Sci Technol* 2015;63:562–8.
- [26] Schaafsma G. The protein digestibility corrected amino acid score (PDCAAS) – a concept for describing protein quality in foods and food ingredients: a critical review. *J Nutrition* 2005;88(3):988–94.
- [27] Boye J, Wijesinha-Bettoni R, Burlingame B. Protein quality evaluation twenty years after the introduction of the protein digestibility amino acid score method. *Br J Nutr* 2012;108:S183–211.
- [28] Mariotti F, Tomé D. Les propriétés nutritionnelles des protéines végétales en alimentation humaine. *OCL* 1999;6:487–93.
- [29] Mariotti F, Tomé D. New data to appreciate the quality of vegetal proteins in humans. Implications and outlook. *OCL* 2003;10:17–22.
- [30] Duranti M. Review: grain legume proteins and nutraceutical properties. *Fitoterapia* 2006;77:67–82.
- [31] Petitot M, Boyer L, Minier C, Micard V. Fortification of pasta with split pea and faba bean flours: pasta processing and quality evaluation. *Food Res Int* 2010;43:634–41.
- [32] Weghuber D, Widham K. Effect of a 3-month treatment of children and adolescents with familial and polygenic hypercholesterolaemia with a soya-substituted diet. *Br J Nutr* 2008;99:281–6.
- [33] Mariotti F. L'inflammation post-prandiale : les données récentes suggèrent un rôle préventif des protéines alimentaires et de leur nature. *OCL*; 2011. p. 14–20.
- [34] Camilleri GM, Verger EO, Huneau JF, Carpentier F, Dubuisson C, Mariotti F. Plant and animal protein intakes are differently associated with nutrient adequacy of the diet of french adults. *J Nutr* 2013;143:1466–73.
- [35] Schulze H, Van Leeuwen P, Verstegen MW, Huisman J, Souffrant WB, Ahrens F. Effect of level of dietary neutral detergent fiber on ileal apparent digestibility and ileal nitrogen losses in pigs. *J Anim Sci* 1994;72:2362–8.
- [36] Monneret-Vautrin D, Kanny G, Morisset M. Les allergies alimentaires de l'enfant et de l'adulte. Elsevier Masson; 2006. p. 1–155.
- [37] Cerf-Bensoussan N, Denery-Papini S. Les pathologies associées au blé et céréales apparentées. *Info Diet* 2014;3:14–20.
- [38] Leffelaar J. Feeding proteins to the world: forecasts for agri commodities and animal protein production and consumption. In: Protein Summit. 2013.
- [39] Frost, Sullivan. Strategic insight into the global plant protein ingredients market, 2012. In: Communication au CVT Allenvi. 2012.