

Juin 2017
volume n°7 / numéro n°1
www.agronomie.asso.fr

Agronomie

environnement & sociétés

La revue de l'association française d'agronomie



Nutrition et agronomie



Agronomie, Environnement & Sociétés est une revue à comité de lecture et en accès libre éditée par l'Association Française d'Agronomie (AFA) sous le numéro ISSN 1775-4240. Plus d'informations www.agronomie.asso.fr/aes. L'AFA est une association à but non lucratif qui publie des travaux en accès libre.

Les articles sont publiés sous la licence Creative Commons2.0. La citation ou la reproduction de tout article doit mentionner son titre, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue AE&S et de son URL, ainsi que la date de publication.

Les protéines végétales pour l'alimentation humaine

Plant protein for food

Jean-Michel CHARDIGNY*

*INRA, Centre de Recherche de Dijon-Bourgogne-Franche-Comté, Bâtiment Le Magnen, 17 Rue Sully, BP 86510, 21065 DIJON - Téléphone : 03 80 69 35 48, - Courriel : jean-michel.chardigny@inra.fr

Résumé

Dans un contexte mondial de tension sur les protéines afin d'assurer la sécurité alimentaire, les sources végétales représentent une opportunité pour répondre aux besoins. Ces sources sont multiples et peuvent être consommées sous forme de graines par exemple. Les protéines végétales peuvent également être plus ou moins isolées à partir de sources diverses et constituer des ingrédients disponibles pour la formulation et l'assemblage de différentes préparations. Cependant, les protéines végétales sont souvent moins bien équilibrées en acides aminés indispensables que les sources animales, ce qui nécessite souvent une complémentarité entre sources. Elles sont également parfois associées dans les matrices natives à des « facteurs antinutritionnels », dont il est important de considérer leurs teneurs et l'impact des procédés afin de maîtriser leur impact.

Mots-clés

Protéines, Alimentation, Matières Protéiques Végétales, Sécurité alimentaire.

Abstract

In a global context of stress on proteins to ensure food security, plant sources represent an opportunity to meet the worldwide request for food needs. These various sources can be consumed as seeds or grains. Plant proteins can also be more or less isolated from raw materials and further represent food ingredients available for the formulation and the assembly of different preparations. However, plant proteins are often less well balanced in essential amino acids than animal sources, which often requires complementarity between sources. They are also sometimes associated in the native matrices with "antinutritional factors", of which it is important to consider their grades and the impact of the processes in order to control their impact.

Introduction

En France, l'ANSES (précédemment AFSSA) recommande (Apports Nutritionnels Conseillés) un apport quotidien en protéines de 0,83 g/kg de poids corporel/jour pour la population adulte (AFSSA 2007). En outre, les sources de protéines doivent être de «bonne qualité». Bien que ce concept reste peu clair, l'objectif est de couvrir les besoins en acides aminés essentiels (isoleucine, leucine, lysine, méthionine, phénylalanine, thréonine, tryptophane et valine). Le tableau 1 montre les niveaux d'acides aminés essentiels provenant de sources animales et de certaines sources végétales. Bien que la composition en acides aminés des protéines animales soit proche des besoins de

l'Homme, l'association de différentes sources permet également de couvrir les besoins en acides aminés par les protéines végétales. Par exemple, les céréales sont généralement déficitaires en lysine et riches en acides aminés soufrés (méthionine). D'autre part, les légumes secs sont pauvres en méthionine mais riches en lysine, ce qui permet ainsi une bonne complémentarité. Cette notion de « bonne qualité » des protéines comprend donc la digestibilité et la composition en acides aminés essentiels. Cependant, il est également important de considérer :

- La vitesse de digestion et d'absorption, même si cela ne fait l'objet d'aucune recommandation ou classification et qu'il est donc difficile d'émettre des recommandations concrètes en particulier pour les populations âgées ;
- Le type de sources, en pratique courante animale versus végétale. Les acides aminés soufrés et la lysine peuvent être en effet limitants dans le cas d'apports déséquilibrés entre céréales et légumineuses et d'un régime pauvre en protéines animales ;
- La répartition journalière de l'apport protéique ou chronobiologie des apports. Il a été montré que pour la population âgée, la consommation concentrée sur le déjeuner semble augmenter l'efficacité anabolique et la rétention azotée chez les sujets âgés. Cette recommandation ne doit pas pour autant conduire à une réduction de l'apport protéique sur l'ensemble de la journée.

	Ile	Leu	Lys	Mét (+Cys)	Phé	Thr	Trp	Val
Protéine de référence	4,2	4,8	4,2	4,2	2,8	2,8	1,4	4,2
Œuf	6,9	9,0	7,2	5,8	5,9	5,0	2,4	7,4
Viande	7,7	6,3	8,1	3,3	4,9	4,6	1,3	5,8
Soja	5,6	7,6	6,3	3,6	5,4	3,9	1,2	5,4
Pois chiche	4,7	7,8	7,4	3,3	6,0	3,9	0,8	5,2
Blé tendre	3,9	6,5	2,7	3,8	4,4	3,0	1,1	4,5
Luzerne	4,7	8,7	6,3	3,3	4,9	4,7	1,9	6,0
Spiruline	5,6	8,7	4,7	3,2	4,5	5,1	1,5	6,5

Ile : Isoleucine, Leu : Leucine, Mét : Méthionine, Cys : Cystéine, Phé : Phénylalanine, Thr : Thréonine, Trp : Tryptophane, Val : Valine

Tableau 1 : Teneur en acides aminés indispensables de diverses sources protéiques, en grammes pour 100 grammes de protéines, comparées à celle de la protéine de référence (FAO/OMS). Adapté de multiples sources

Cette notion de qualité recoupe la recommandation de l'ONU selon laquelle l'apport doit être équilibré entre les sources animales et végétales sur un rapport de 1:1. Cependant, dans nos pays, la consommation observée actuellement est plutôt riche en protéines animales (2/3 des contributions) et laisse une marge de progrès importante pour les protéines végétales. Cette marge de progrès nécessite toutefois une offre nouvelle et innovante. Cet équilibre observé entre sources animales et végétales diffère cependant à travers le monde en fonction d'un grand nombre de paramètres, notamment les revenus, le PIB, etc...

Ces recommandations nutritionnelles sont d'une plus grande importance pour les sujets plus âgés. Avec l'âge, en raison du développement d'une résistance anabolique, la synthèse des protéines nécessite des niveaux plus élevés d'acides aminés circulants, en particulier les acides aminés essentiels. Par conséquent, l'équilibre entre la synthèse et la dégradation des protéines (pour maintenir la masse pro-

téique corporelle) devient plus difficile à maintenir (Walrand and Boirie, 2005). La dose journalière recommandée est alors augmentée jusqu'à environ 1 g/kg de poids corporel/jour, en favorisant les protéines "rapides", c'est-à-dire rapidement absorbée et donc capables d'accroître rapidement l'acido-aminé. Les besoins en protéines sont également accrus et la qualité est importante chez les athlètes et les personnes ayant une activité physique intense. Par ailleurs et d'un point de vue métabolique en effet, la synthèse protéique corporelle nécessite un bon équilibre entre tous les acides aminés (figure 1).

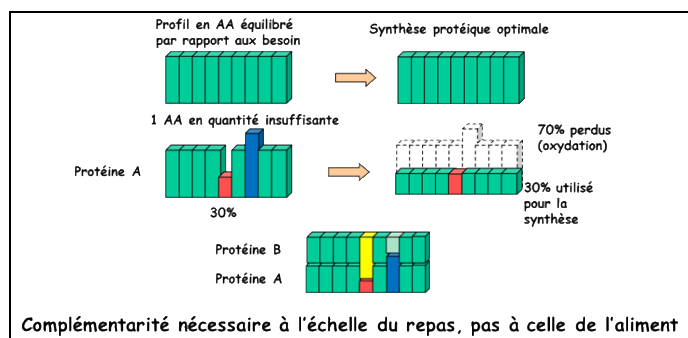


Figure 1 : Besoin de disponibilité de tous les acides aminés à l'échelle du repas

Protéines et sécurité alimentaire mondiale

Selon la FAO, 1/7 de la population mondiale souffre de la faim et 1 milliard de personnes ont un apport insuffisant en protéines. Plusieurs études prospectives (Esnouf, Russel et al., 2011 ; BIPE, 2015) (TerresInovia, 2016) prédisent une contrainte majeure sur les sources de protéines dans les prochaines décennies, ce qui n'est pas le cas pour les glucides ou les lipides. Dans le même temps, l'apport en protéines animales est élevé dans les pays industrialisés, environ 65 à 70% de la consommation totale de protéines, et ce phénomène s'installe dans les pays émergents en relation avec l'augmentation du PIB. Pourtant, la production de protéines animales est plus coûteuse en ce qui concerne l'eau et les ressources énergétiques. De plus, il faut en moyenne 5 tonnes de protéines végétales pour produire une tonne de protéines animales, même si ce rapport de 1 à 5, très approximatif, diffère entre les filières et les modes de production. Il est donc important de rééquilibrer les apports entre les protéines animales et végétales - ou d'autres alternatives - dans des systèmes alimentaires durables permettant l'accès à l'apport en protéines de qualité à l'ensemble de la population mondiale, tout en conservant une place pour les sources de protéines animales.

Les sources de protéines végétales sont principalement des légumineuses (soja, haricots, pois, pois chiches, lentilles ...) et des céréales (blé, riz ...). On peut également citer des produits alimentaires à base de soja, dans des préparations diverses disponibles tant pour la restauration collective qu'à domicile, ou dans certains aliments de spécialité et des préparations alimentaires (sports, seniors ...). Les protéines végétales sont également incorporées dans la formulation d'aliments en tant que matières protéiques végétales (MPV). Ces MPV sont des fractions riches en protéines, obtenues par fractionnement de matières premières telles que des céréales ou des graines de légumineuses et d'oléagineux, mais aussi des tubercules (comme les pommes de terre) ou des feuilles (protéines foliaires de la luzerne). Les principales MPV sont dérivées du soja et du blé (gluten). Le

pois occupe un marché beaucoup plus limité. Le lupin et la pomme de terre sont des sources émergentes (Guéguen, Walrand et al. 2016). Des stratégies de recherches plus récentes visent également à mieux utiliser d'autres sources comme les tourteaux de tournesol et de colza, en intégrant la préservation de la fraction protéique pendant les procédés d'extraction des huiles.

Composition des matières protéiques d'origine végétale

En moyenne, les aliments d'origine animale contiennent des quantités plus importantes de protéines par portion consommée. Au-delà de la quantité de protéines, d'autres facteurs doivent également être pris en considération, tels que la qualité des protéines en termes de digestibilité et de composition d'acides aminés. La qualité nutritionnelle des protéines alimentaires peut être définie par leur capacité à couvrir les besoins en acides aminés essentiels pour la croissance et l'entretien des tissus. En outre, en raison de l'absence de synthèse de novo et de capacité de stockage, les besoins en acides aminés essentiels doivent être couverts par des apports adaptés à l'échelle des repas, contrairement aux graisses et aux glucides qui ont la capacité d'être stockés dans le tissu adipeux et sous forme de glycogène.

La méthode de référence pour l'évaluation de la qualité nutritionnelle des protéines était le PDCAAS ou « Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score » (FAO/WHO, 1990), correspondant à la digestibilité de la protéine multipliée par l'indice chimique. Mais en 2013, la FAO a proposé un nouvel indice, le DIAAS (« Digestible Essential Amino Acid Score ») qui reflète non seulement la composition en acides aminés des protéines, mais aussi leur biodisponibilité (digestibilité dans l'intestin grêle) (FAO/WHO 2013).

Cependant, ces indices sont encore insuffisants pour répondre aux besoins de populations spécifiques telles que les personnes âgées. Alors que le pourcentage de cette catégorie de personnes augmente, les besoins en protéines pour ces populations sont particulièrement importants, tant au niveau quantitatif que qualitatif. En particulier, une prévalence de 30% de la consommation insuffisante de protéines a été proposée - sans parler de problèmes qualitatifs - (voir ci-dessus).

Parmi les acides aminés indispensables, la méthionine, la lysine, le tryptophane et la thréonine, sont le plus souvent limitants pour la valeur nutritionnelle des protéines alimentaires (FAO/WHO 2014). Ces concentrations en acides aminés sont généralement plus faibles (dans des proportions différentes) dans les sources végétales de protéines. La combinaison correcte de protéines à base de produits végétaux permet cependant d'augmenter la qualité des protéines à l'échelle du repas en compensant les déficits en acides aminés indispensables des aliments d'origine végétale pris individuellement. Comme mentionné ci-dessus, les sources de protéines végétales sont multiples. Outre les légumineuses et les céréales, d'autres sources potentielles pour la consommation humaine sont disponibles comme les fractions protéiques des graines oléagineuses telles que le tournesol et le colza. Ces « cakes » (graines partiellement ou totalement déshuilées) sont généralement valorisés dans l'alimentation animale, mais une plus grande valeur ajoutée pourrait probablement émerger pour certains des volumes produits. Par ailleurs, les sources de protéines végétales

sont des vecteurs de vitamines hydrosolubles et de fibres. Ceci représente une opportunité pour la qualité des apports nutritionnels, puisque les apports alimentaires actuels en fibres sont bien inférieurs aux recommandations (25 à 30 g/jour). Par ailleurs, d'autres critères tels que la capacité de libérer des peptides bioactifs présentant des activités biologiques intéressantes pour la santé restent à explorer. Les peptides bioactifs du lait ou des produits carnés sont clairement identifiés, la présence de peptides bioactifs dérivés de protéines végétales reste un champ à investiguer. Il est cependant à noter que des peptides à activité opioïde sont présents dans les hydrolysats pepsique du gluten de blé et de la α -caséine.

Limites des protéines végétales

Dans les pays émergents, les sources de protéines végétales sont souvent mélangées avec des céréales pour satisfaire une complémentarité des apports et couvrir les besoins en acides aminés indispensables. Les plats traditionnels tel le couscous ou les tortillas en sont des exemples classiques.

Outre les déficits en certains acides aminés essentiels, les légumineuses, comme les féculents, les céréales, les légumes et les fruits sont vecteurs de facteurs qualifiés d'anti-nutritionnels. Ils sont multiples, mais présents ou pas selon les espèces, à des concentrations variables, et sont souvent en partie ou en totalité éliminés lors des procédés mis en œuvre avant consommation. On pourra notamment citer les facteurs anti-trypsiques donc inhibiteurs de la digestion des protéines, présents à des teneurs variables dans les légumineuses. Ces composés sont cependant détruits notamment par la chaleur i.e. la cuisson (Rio 2017) pour revue).

Ces aliments contiennent également des niveaux plus ou moins élevés d'acide phytique, qui peut inhiber l'absorption des éléments traces et des minéraux, y compris l'absorption du fer, du zinc, du calcium et du manganèse. Cependant, on observe là encore une large variabilité et un effet important des traitements technologiques. A titre d'exemple, le fractionnement du blé conduit à l'élimination d'une part majeure de l'acide phytique dans le son et les issues.

Les limitations dues à la consommation potentielle de phytoestrogènes sont également souvent soulignées, notamment dans le cas du soja. Les phytoestrogènes sont un groupe de composés non stéroïdiens naturellement produits par les plantes qui, en raison de leur structure moléculaire similaire à l'estradiol (17 β -estradiol), ont la capacité de produire des effets oestrogéniques ou anti-oestrogéniques. Ils sont donc considérés comme des «perturbateurs endocriniens». Dans son rapport de mars 2005, l'ANSES a recommandé (AFSSAPS 2005), par exemple pour les aliments de soja (tonyu, miso, tofu, yogourt et desserts de soja) l'étiquette suivante: «Contient Xmg d'isoflavones (phytoestrogènes). Consommer avec modération à 1 mg/kg de poids corporel (Non recommandé pour les enfants de moins de 3 ans).

Une recommandation est ajoutée dans un décret récent (24 juin 2014) établissant la liste des plantes, autres que les champignons, autorisées dans les compléments alimentaires et les conditions d'utilisation, par exemple :

- Pour le soja, « La dose quotidienne recommandée ne doit pas conduire à une ingestion quotidienne d'isoflavones supérieure à 1 mg / kg de poids corporel (exprimée en aglycone du composant principal). Déconseillé aux femmes

ayant des antécédents personnels ou familiaux de cancer du sein » ;

- Pour la luzerne, l'étiquetage doit inclure un message indiquant « déconseillé aux femmes ayant des antécédents personnels ou familiaux de cancer du sein », en raison du contenu en coumestrol, la coumarine, les alcaloïdes.

Ces recommandations doivent toutefois être remises en perspectives des données récentes prenant notamment en compte les matières premières et procédés utilisés dans les produits disponibles sur le marché français (Joubrel, 2016). Ce type d'aliment a ainsi sa place au sein d'une alimentation équilibrée.

Protéines végétales alimentaires (Guéguen, Walrand et al., 2016)

Les protéines animales (viande, lait et produits laitiers, poisson et ovoproduits) sont souvent considérées comme une référence en termes de qualité nutritionnelle, mais les ressources disponibles pour produire ces protéines ne sont pas illimitées. En outre, certaines protéines animales alimentaires, présentant des caractéristiques particulières, sont intéressantes dans des situations physiopathologiques caractérisées par un changement du métabolisme des protéines corporelles, par ex. les protéines de lactosérum pour les personnes âgées ou les athlètes.

Si plusieurs sources alternatives et diversifiées - Insectes, champignons, algues ... - pourraient être développées à l'avenir, les protéines végétales représentent, à court terme, l'opportunité d'une offre plus large en complément des protéines animales. Bien que leur production soit moins onéreuse, les protéines végétales seront cependant confrontées à de nombreux verrous tant en termes d'adaptation des technologies que d'acceptabilité par les consommateurs. Mais la dernière enquête du GEPV¹ montre que les protéines végétales sont perçues comme « bonnes pour la santé » pour 93% des français. 83% considèrent qu'elles sont complémentaires des protéines animales. Cette perception positive ouvre donc de réelles perspectives d'avenir.

Les légumes secs représentent ainsi une source précieuse de protéines (pois 24%, fèves 30%, lupin 36%), mais ils sont peu consommés, notamment en France (moins de 1,5 kg par personne et par an, contre plus de 7 kg au Canada) et sont confrontés à une image désuète et des perceptions sensorielles défavorables. Cependant, en utilisant la complémentarité en termes de composition en acides aminés entre les sources de protéines végétales (céréales/légumineuses), il est possible de développer de nouveaux produits alimentaires et analogues de viande de qualités nutritionnelles et organoleptiques optimisées. Parmi les sources végétales et en particulier les légumineuses, le soja est celui qui est le plus utilisé. Il est bien équilibré en acides aminés essentiels et largement disponible sous diverses formes (boissons, desserts, produits texturés ...). Pour les autres sources (blé, colza, tournesol, etc.), la fraction protéique est souvent un coproduit de l'amidon ou des huiles et est principalement valorisée dans l'alimentation animale. Les tonnages disponibles sont importants. Leur utilisation pour partie pour l'alimentation humaine est un défi à relever pour l'avenir, en lien avec la composition d'acides aminés souvent déséquilibrés.

¹ Groupe d'Etude et de Promotion des Protéines Végétales

brée, une digestibilité pas toujours bien caractérisée et le risque d'allergénicité qui reste à évaluer. Le pois est par contre déjà largement travaillé et disponible sur le marché en tant qu'ingrédient (concentrat, isolat). Cependant, certains verrous restent à lever malgré un réel potentiel. On peut rappeler les facteurs anti-nutritionnels dont ils faut maîtriser les concentrations, mais aussi les questions de goût et d'acceptabilité par les consommateurs.

Les protéines végétales incorporées dans la formulation d'aliments sous forme de MPV, sont obtenues par fractionnement de matières premières. Il est classiquement admis 3 types de MPV, en fonction de leur teneur en protéines, des farines, des concentrats et des isolats. Leur teneur en protéines est respectivement comprise entre 50 et 65%, 65 et 90% et plus de 90%. Les technologies d'enrichissement sont adaptées aux matières premières, selon leur structure (graines, feuilles, tubercules) et aux propriétés physico-chimiques des protéines. Dans l'ensemble, les technologies se distinguent en « voies sèches » (par exemple broyage, turboséparation) et "voies humides". Ces dernières sont notamment basées sur les propriétés de solubilité différentielle des protéines. Les MPV (farines, concentrats, isolats) sont incorporées dans des formulations comme ingrédients nutritionnels pour augmenter la teneur en protéines du produit fini et/ou en tant qu'ingrédients fonctionnels (en utilisant les propriétés émulsionnantes, moussantes et gélifiantes). Ils sont donc des aides technologiques pour la formulation alimentaire ou pour améliorer la texture et la stabilité physique. Les protéines végétales comme les protéines animales ont en effet souvent un rôle fonctionnel pour contribuer à la texture des aliments et conférer certaines propriétés organoleptiques. C'est le cas par exemple du pain et des pâtes dont la qualité dépend étroitement des propriétés viscoélastiques des protéines de blé (gluten). L'utilisation de MPV constitue également un nouveau levier pour développer une alimentation "prête à cuisiner" en réponse à la demande des consommateurs.

Pour développer davantage d'applications, des efforts de recherche peuvent encore être faits à la fois sur les plans génétique et technologique pour améliorer la fonctionnalité et l'alimentation des MPV, en particulier sur les isolats et les concentrats. À l'exception du blé en effet, la génétique s'est peu intéressée à la relation entre la composition et le polymorphisme des protéines et leur fonctionnalité technologique pour l'alimentation humaine. La sélection représente un levier important dans la mesure où les besoins des industries de 1ère et de 2ème transformation sont bien définis, tant en termes de propriétés fonctionnelles que de contrôle pour des composés indésirables ou générateurs de «off flavors». De même, des innovations sont possibles dans le domaine des procédés de fabrication pour adapter les MPV aux besoins. Enfin, des études récentes ont montré que les interactions entre les protéines végétales et d'autres biopolymères, protéines ou polysaccharides, peuvent entraîner des améliorations des propriétés fonctionnelles. Tous ces domaines d'innovations ont été privilégiés dans l'étude du CVT Allenvi (<http://www.cvt-allenvi.fr/>).

Qualité nutritionnelle

En raison d'une teneur en acides aminés à chaîne ramifiée plus élevée (Tang and Phillips, 2009) et d'une augmentation rapide de la concentration d'acides aminés dans le sang, le lactosérum est souvent considéré comme étant nutritionnellement supérieur à d'autres sources de protéines isolées (Pennings, Groen et al., 2012). Dans une revue récente, Van Vliet et al (van Vliet, Burd et al., 2015) ont comparé la réponse anabolique dans le muscle squelettique après un apport en protéines végétales versus un apport en protéines animales. Ils ont conclu que, d'un point de vue général, les protéines végétales sont moins efficaces pour améliorer les taux anaboliques postprandiaux, c'est-à-dire la synthèse des protéines musculaires après le repas, par rapport aux équivalents d'origine animale. Par exemple, il a été établi que l'ingestion de protéines de soja aboutit à des réponses anaboliques postprandiales inférieures à ceux de l'ingestion de viande bovine (Phillips, 2012), de lactosérum (Wilkinson, Tarnopolsky et al., 2007 ; Tang, Moore et al., 2009, Yang, Churchward-Venne et al., 2012) ou de lait (Wilkinson, Tarnopolsky et al., 2007), tant au repos qu'en phase de récupération post-exercice. Cela pose donc la question de savoir si l'apport régulier de protéines végétales ou animales entraînerait des résultats divergents, en particulier en terme de régulation et maintien de la masse musculaire. De manière générale, plusieurs études ont confirmé que la consommation de protéines animales lors d'une intervention d'entraînement à l'effort entraînait des gains de masse musculaire plus importants qu'une quantité isoazotée de protéines végétales (Campbell, Barton et al., 1999, Campbell and Leidy, 2007 ; Hartman, Tang et al., 2007 ; Volek, Volk et al., 2013).

Pour expliquer ces données, les acides aminés essentiels sont fournis à peu près dans la même proportion dans la plupart des aliments à base d'animaux, mais sont souvent trouvés dans des proportions différentes dans les aliments à base de plantes. Parmi les exemples historiques de ces compléments figurent les haricots et le maïs des Amériques, ou le riz et le soja en Asie. Des stratégies visant à améliorer les propriétés anabolisantes des protéines à base de plantes sont cependant encore à développer. Ces stratégies doivent tenir compte de différentes questions. La première est la quantité de protéine, car les protéines à base de plantes sont généralement déficitaires en certains acides aminés essentiels. Cependant, cette stratégie souffre de limites en raison de l'oxydation accrue d'acides aminés spécifiques tels que la leucine (Yang, Churchward-Venne et al., 2012). Des fortifications de leucine ou de lysine/méthionine ont également été étudiées en fonction de la carence de matière première. Ces compléments semblent être une bonne stratégie, bien que, parce que leurs taux d'assimilation sont différents, il faut étudier le devenir métabolique des acides aminés donnés comme protéines alimentaires ou comme mélange d'acides aminés libres (Zhao, Zhai et al., 2004 ; Engelen, Rutten et al., 2007). Enfin, des mélanges de protéines peuvent représenter une opportunité pour l'innovation. Par exemple, Reidy et al. (Reidy, Walker et al., 2014) ont montré qu'un mélange (25% de soja, 25% de lactosérum et 50% de caséine) est capable de stimuler la croissance musculaire par une élévation marquée de la synthèse des protéines musculaires, comme celle obtenue par une protéine de lactosérum.

A part les légumineuses souvent citées avec les céréales, le colza est considéré comme une source émergente de protéines alimentaires (<http://www.cvt-allenvi.fr/>). Les tourteaux de tournesol résultant de l'extraction de l'huile pourraient aussi représenter une nouvelle source de protéines.

Bos *et al.* (Bos, Airinei *et al.*, 2007) ont déterminé la valeur nutritive des protéines de colza chez l'homme. En utilisant une sonde intestinale pour quantifier les débits d'ions de l'iléon et la protéine ¹⁵N-marquée pour mesurer spécifiquement le destin métabolique de l'azote alimentaire absorbé, ils ont montré que les protéines de colza ont une digestibilité iléale réelle faible chez l'homme (84%). Cette faible biodisponibilité est compensée par une excellente valeur biologique postprandiale (84%). Pris ensemble, ces résultats indiquent une rétention postprandiale de protéines de colza de 70%, comparable à celle d'autres protéines végétales. Ainsi, ces résultats montrent que cette source de protéines pourrait être d'un grand intérêt pour la nutrition humaine. En particulier, la valeur biologique postprandiale élevée des protéines de colza est probablement due aux niveaux élevés d'acides aminés essentiels et en particulier d'acides aminés soufrés.

Dans une étude récente, Norgaard *et al.* (Norgaard, Fernandez *et al.*, 2012) ont également rapporté la digestibilité iléale chez le porc de tourteaux de tournesol et de colza par rapport à celle des légumineuses. Comparativement au soja ou au pois, la digestibilité de ces sources était plus faible, mais elle était plutôt supérieure au lupin. Une autre étude a révélé que, malgré des indices globaux très semblables de digestion et de rétention *in vivo* de l'azote alimentaire postprandial, l'ingestion d'isolats de protéines de colza et de lait a conduit à des différences régionales marquées dans l'utilisation de l'azote alimentaire (Boutry, Fouillet *et al.*, 2011). L'ingestion de protéines de colza a entraîné une plus grande rétention d'azote dans les organes viscéraux alors que les protéines de lait ont augmenté cela dans la peau. En revanche, la teneur en protéines anaboliques des tissus correspondants n'a pas été influencée par la source de protéines. Enfin, la plupart des différences entre les protéines de colza et le métabolisme postprandial des protéines du lait ont été observées après la première ingestion de chaque source de protéines et ont persisté après l'adaptation.

Verrous et perspectives

Il existe un ensemble de verrous à lever pour augmenter la consommation de protéines végétales. Les légumineuses elles-mêmes ne sont pas bien perçues par les consommateurs, avec une image désuète et un positionnement comme féculents dans la pyramide alimentaire française. La situation en Amérique du Nord, en particulier au Canada, est différente de celle de la classification des légumineuses dans les sources de protéines.

Comme ingrédients, les défis restent à la fois technologiques (solubilité, propriétés émulsifiantes et moussantes, etc ...) ainsi que dans la qualité nutritionnelle et sensorielle du produit fini (goût «vert» par exemple). Parmi les composés de ces générateurs, on citera les "off-flavors", les lipoxygénases ou les saponines. Des améliorations pourraient être apportées à la fois par la génétique et les formulations, éventuellement en combinant ces différents leviers. Toutefois, certains produits sont sur le marché en tant

qu'ingrédients (pour des exemples, voir Chardigny, 2017) ou de produits finis. Cette offre continuera sans doute à se développer en complément des produits et sources de protéines animales ou végétales plus classiques.

En conclusion, les protéines végétales sont certainement l'occasion de répondre aux futurs besoins mondiaux globaux de protéines, en utilisant la complémentarité ou les associations avec d'autres produits traditionnels (produits animaux) ou nouveaux (algues, insectes ...). Néanmoins, de grands efforts de recherche sont nécessaires pour faciliter leur utilisation tant dans les préparations domestiques que dans l'industrie alimentaire. Les protéines animales conservent leur place dans la consommation alimentaire, mais leur production devrait être notamment une opportunité de transformation de biomasse non alimentaire pour l'Homme (par exemple les prairies pour l'alimentation des ruminants).

Bibliographie

AFSSA (2007). Apports en protéines : consommation, qualité, besoins et recommandations.

AFSSAPS, A. (2005). Sécurité et bénéfices des phytoestrogènes apportés par l'alimentation - Recommandations.

BIPE (2015). Alimentation et climat. impact de l'alimentation sur le climat : prospective monde à 2030 et identification des enjeux.

Bos, C., G. Airinei, F. Mariotti, R. Benamouzig, S. Berot, J. Evrard, E. Fenart, D. Tome and C. Gaudichon (2007). "The poor digestibility of rapeseed protein is balanced by its very high metabolic utilization in humans." *J Nutr* 137(3): 594-600.

Boutry, C., H. Fouillet, F. Mariotti, F. Blachier, D. Tome and C. Bos (2011). "Rapeseed and milk protein exhibit a similar overall nutritional value but marked difference in postprandial regional nitrogen utilization in rats." *Nutr Metab (Lond)* 8(1): 52.

Campbell, W. W., M. L. Barton, Jr., D. Cyr-Campbell, S. L. Davey, J. L. Beard, G. Parise and W. J. Evans (1999). "Effects of an omnivorous diet compared with a lactoovo-vegetarian diet on resistance-training-induced changes in body composition and skeletal muscle in older men." *Am J Clin Nutr* 70(6): 1032-1039.

Campbell, W. W. and H. J. Leidy (2007). "Dietary protein and resistance training effects on muscle and body composition in older persons." *J Am Coll Nutr* 26(6): 696S-703S.

Chardigny, J. M. (2017). Besoins Alimentaires en protéines et besoins spécifiques de certaines catégories de population. Le DEMETER 2017. DEMETER : 355-362.

Engelen, M. P., E. P. Rutten, C. L. De Castro, E. F. Wouters, A. M. Schols and N. E. Deutz (2007). "Supplementation of soy protein with branched-chain amino acids alters protein metabolism in healthy elderly and even more in patients with chronic obstructive pulmonary disease." *Am J Clin Nutr* 85(2): 431-439.

Ensnouf, C., M. Russel and N. Bricas (2011). Pour une alimentation durable. réflexion stratégique DuALine., Quae.

- FAO/WHO (1990). Expert consultation on protein quality evaluation, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- FAO/WHO (2013). Dietary protein quality evaluation in human nutrition, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- FAO/WHO (2014). Research approaches and methods for evaluating the protein quality of human foods., Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Gueguen, J., S. Walrand and O. Bourgeois (2016). "Les protéines végétales : contexte et potentiels en alimentation humaine." *Cah Nutr Diet* 51(4): 177-185.
- Hartman, J. W., J. E. Tang, S. B. Wilkinson, M. A. Tarnopolsky, R. L. Lawrence, A. V. Fullerton and S. M. Phillips (2007). "Consumption of fat-free fluid milk after resistance exercise promotes greater lean mass accretion than does consumption of soy or carbohydrate in young, novice, male weightlifters." *Am J Clin Nutr* 86(2): 373-381.
- Joubrel, G. (2016). Les aliments au soja : une longue histoire et un bel avenir. 1^{ères} Rencontres Francophones sur les Légumineuses. Dijon.
- Norgaard, J. V., J. A. Fernandez and H. Jorgensen (2012). "Ileal digestibility of sunflower meal, pea, rapeseed cake, and lupine in pigs." *J Anim Sci* 90 Suppl 4: 203-205.
- Pennings, B., B. Groen, A. de Lange, A. P. Gijzen, A. H. Zorenc, J. M. Senden and L. J. van Loon (2012). "Amino acid absorption and subsequent muscle protein accretion following graded intakes of whey protein in elderly men." *Am J Physiol Endocrinol Metab* 302(8): E992-999.
- Phillips, S. M. (2012). "Nutrient-rich meat proteins in offsetting age-related muscle loss." *Meat Sci* 92(3): 174-178.
- Reidy, P. T., D. K. Walker, J. M. Dickinson, D. M. Gundermann, M. J. Drummond, K. L. Timmerman, M. B. Cope, R. Mukherjea, K. Jennings, E. Volpi and B. B. Rasmussen (2014). "Soy-dairy protein blend and whey protein ingestion after resistance exercise increases amino acid transport and transporter expression in human skeletal muscle." *J Appl Physiol* (1985) 116(11): 1353-1364.
- Rio, C. (2017). "Les légumes secs, aliments de choix à valoriser." *Cah Nutr Diet* Sous presse.
- Tang, J. E., D. R. Moore, G. W. Kujbida, M. A. Tarnopolsky and S. M. Phillips (2009). "Ingestion of whey hydrolysate, casein, or soy protein isolate: effects on mixed muscle protein synthesis at rest and following resistance exercise in young men." *J Appl Physiol* (1985) 107(3): 987-992.
- Tang, J. E. and S. M. Phillips (2009). "Maximising muscle protein anabolism: the role of protein quality." *Curr Opin Clin Nutr Metab* 12: 66-71.
- TerresInovia. (2016). <http://www.terresinovia.fr/terresinovia/actions-phares/prospective-huiles-et-proteines-vegetales-2030/>.
- Van Vliet, S., N. A. Burd and L. J. van Loon (2015). "The Skeletal Muscle Anabolic Response to Plant- versus Animal-Based Protein Consumption." *J Nutr* 145(9): 1981-1991.
- Volek, J. S., B. M. Volk, A. L. Gomez, L. J. Kunces, B. R. Kupchak, D. J. Freidenreich, J. C. Aristizabal, C. Saenz, C. Dunn-Lewis, K. D. Ballard, E. E. Quann, D. L. Kawiecki, S. D. Flanagan, B. A. Comstock, M. S. Fragala, J. E. Earp, M. L. Fernandez, R. S. Bruno, A. S. Ptolemy, M. D. Kellogg, C. M. Maresh and W. J. Kraemer (2013). "Whey protein supplementation during resistance training augments lean body mass." *J Am Coll Nutr* 32(2): 122-135.
- Walrand, S. and Y. Boirie (2005). "Optimizing protein intake in aging." *Curr Opin Clin Nutr Metab* 8(1): 89-94.
- Wilkinson, S. B., M. A. Tarnopolsky, M. J. Macdonald, J. R. Macdonald, D. Armstrong and S. M. Phillips (2007). "Consumption of fluid skim milk promotes greater muscle protein accretion after resistance exercise than does consumption of an isonitrogenous and isoenergetic soy-protein beverage." *Am J Clin Nutr* 85(4): 1031-1040.
- Yang, Y., T. A. Churchward-Venne, N. A. Burd, L. Breen, M. A. Tarnopolsky and S. M. Phillips (2012). "Myofibrillar protein synthesis following ingestion of soy protein isolate at rest and after resistance exercise in elderly men." *Nutr Metab (Lond)* 9(1): 57.
- Zhao, W., F. Zhai, D. Zhang, Y. An, Y. Liu, Y. He, K. Ge and N. S. Scrimshaw (2004). "Lysine-fortified wheat flour improves the nutritional and immunological status of wheat-eating families in northern China." *Food Nutr Bull* 25(2): 123-129.