

Des protéines végétales pour remplacer la viande: une analyse pour la Suisse

Daniel Heine¹, Michael Rauch¹, Hans Ramseier¹, Susanne Müller², Alexandra Schmid³, Katrin Kopf-Bolanz¹ et Elisabeth Eugster¹

¹Haute école des sciences agronomiques, forestières et alimentaires BFH-HAFL, 3052 Zollikofen, Suisse

²BFH, département Santé, division Nutrition et diététique, 3008 Berne, Suisse

³Agroscope, 3003 Berne, Suisse

Renseignements: Daniel Heine, e-mail: daniel.heine@bfh.ch



Haricot à rames de la variété «Blaue Mathilde», cultivé en association avec du maïs. (Photo: HAFL)

Introduction

Dans l'industrie agroalimentaire, le secteur des denrées à base de protéines végétales a clairement le vent en poupe. Selon une étude de marché du cabinet américain *Grand View Research* GVR (2016), le chiffre d'affaires du marché mondial des substituts de viande se montait en 2013 à près de 3,19 milliards USD, et on s'attend à ce qu'il atteigne 5,96 milliards USD en 2022 (MAM 2016). En 2016, quelque 68 % des substituts de viande fabriqués dans le monde contenaient des protéines de soja (Technavio 2017), mais de nouveaux produits apparaissent sur le marché, à base de pois, de lupins ou d'autres sources de protéines végétales. Pour limiter les importations de soja et d'autres protéagineux issus de cultures non durables d'Amérique du Sud ou d'Asie, il serait judicieux d'évaluer le potentiel d'une production locale avec transformation directe. Le projet «Soja alimentaire bio suisse» fait ici sans conteste figure de pionnier. Ce vaste projet, qui fédère producteurs, transformateurs, distributeurs et instituts de recherche, s'est donné pour tâche de promouvoir la culture du soja bio en Suisse ainsi que sa valorisation à des fins alimentaires (FiBL 2016). Cependant, d'autres plantes riches en protéines pourraient également être cultivées en Suisse. Elles sont décrites ci-après.

Potentiel de quelques cultures protéagineuses

Les expériences acquises dans le projet susmentionné, tout comme les entretiens menés avec des acteurs de la filière des plantes protéagineuses pour l'alimentation humaine (HAFL 2016) l'ont montré: le prix élevé payé en Suisse pour ces protéines ne se justifie que si elles sont issues de cultures qui a) respectent les principes de l'agriculture biologique et b) sont économes en ressources et durables.

Les variétés les plus prometteuses sont donc celles qui se prêtent à la culture associée, car elles permettent d'exploiter le plus efficacement les ressources, tant dans le sol (nutriments et eau) qu'au-dessus du sol (lumière). Ainsi, les trois cultures suivantes sont considérées comme adaptées aux conditions suisses: les lupins (blanc et bleu), les féveroles et enfin les haricots, à rames et d'Espagne (fig. 1). Les caractéristiques agronomiques de ces trois cultures sont décrites ci-dessous et résumées dans le tableau 1.

Les **lupins** (*Lupinus* spp.) présentent un bon enracinement et absorbent les nutriments (P et K) de manière optimale. Durant la floraison, ils ont besoin de passablement d'eau, mais ils résistent sinon très bien à la sécheresse, grâce à leurs racines profondes. Ils préfèrent les sols acides à légèrement acides: sur les sols dont le pH dépasse 7, leur culture est vouée à l'échec. Dans l'ensemble, les lupins aiment la chaleur, bien qu'ils lèvent aussi lorsque les températures sont fraîches. Le lupin blanc (*Lupinus albus*) présente le rendement protéique brut le plus élevé mais est sujet à l'anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*). De nouvelles variétés devraient améliorer la situation. Le lupin bleu (*Lupinus angustifolia*) est nettement moins vulnérable à cette maladie, mais il ne réprime que faiblement les adventices. De ce fait, il devrait être cultivé en association avec une céréale.

Les **féveroles** (*Vicia faba*) comprennent des variétés d'hiver et de printemps. Cependant, les variétés d'hiver ne prospèrent que dans les zones de basse altitude et au climat tempéré. Elles donnent de bons rendements dans



Figure 1 | Légumineuses adaptées pour la Suisse: féveroles (1 et 4), lupin blanc (2) et lupin bleu (3). (Photo: HAFL)

Résumé ■ Si l'on veut accroître l'autosuffisance en protéines végétales destinées à l'alimentation humaine, il importe d'aborder la question avec une vision aussi globale que possible. Cette étude propose une analyse systémique de la situation en Suisse. Elle montre quelles plantes riches en protéines se prêtent le mieux à une culture à la fois durable et écologique, puis discute leur potentiel nutritionnel ainsi que les procédés permettant de les transformer en concentrats et isolats protéiques, qui sont à leur tour adaptés à la production de substituts de viande.

les sols profonds, lourds et calcaires, mais ne sont pas adaptées aux sols superficiels et séchards (Dierauer et Böhler 2009). Leurs rendements protéiques, avoisinant les 15 dt/ha, sont élevés. Les féveroles devraient de préférence être associées avec l'avoine ou le triticale.

Les essais de culture menés à la HAFL associant le maïs au **haricot à rames** (*Phaseolus vulgaris*) ou au **haricot d'Espagne** (*Phaseolus coccineus*) ont montré que ces mélanges conviennent tout à fait aux conditions suisses. Mais quoique les deux plantes compagnes se complètent très bien, le rendement protéique brut des haricots est nettement plus faible que celui des lupins ou des féveroles. Des investigations sont encore en cours concernant le semis (semer les haricots en même temps que le maïs ou plus tard) et les proportions respectives des deux plantes compagnes dans la semence.

Propriétés nutritionnelles

Pour tester le potentiel d'une source de protéines végétales, il faut bien sûr tenir compte de sa valeur nutritionnelle, c'est-à-dire sa capacité à fournir au corps humain les acides aminés essentiels (AAE), indispensables à sa croissance et à son entretien. Cette capacité dépend, d'une part, de la biodisponibilité des protéines et, d'autre part, de l'efficacité avec laquelle les acides aminés (AA) peuvent être absorbés et métabolisés par l'organisme. À cet égard, les sources de protéines animales sont en générale supérieures à celles d'origine végétale, car elles contiennent un mélange d'AAE équilibré pour l'être humain et sont exemptes de facteurs antinutritionnels qui pourraient réduire leur disponibilité. Le profil d'acides aminés peut être optimisé en combinant des matières

Tableau 1 | Caractéristiques agronomiques des lupins, des féveroles et des haricots à rames et d'Espagne, en culture biologique associée avec le maïs.

Nom français	Nom latin	Sol	Climat	Levée / ré-pression des adventives*	Battage*	Rendement en culture bio, pure ou associée	Rendement protéique par ha
Lupin blanc	<i>Lupinus albus</i>	Mi-lourd à sableux, drainant, pH < 6,8 (Dierauer <i>et al.</i> 2004)	Période de végétation longue (140–170 j), besoin en chaleur élevé. Supporte les gels tardifs jusqu'à -8 °C (Dierauer <i>et al.</i> 2004)	0	0 à + Plus facile à battre que le soja, car les gousses sont haut placées	Culture pure: jusqu'à 45 dt/ha (si la cult. est saine, pertes jusqu'à 100 % en cas d'antracnose) Culture associée: jusqu'à 30 dt/ha (Arncken <i>et al.</i> 2016)	Culture pure: jusqu'à 18 dt prot. brute/ha Culture associée (max. 40 % de lupin): jusqu'à 12 dt prot. brute/ha (Arncken <i>et al.</i> 2016)
Lupin bleu (à feuille étroites)	<i>Lupinus angustifolius</i>	Mi-lourd à sableux, drainant, pH < 6,5 (Dierauer <i>et al.</i> 2004)	Période de végétation longue (120–140 j), besoin en chaleur élevé. Supporte les gels tardifs jusqu'à -4 °C (Dierauer <i>et al.</i> 2004)	- à 0 Nettement plus concurrentielle en cult. associée qu'en cult. pure	0 à + Plus facile à battre que le soja, car les gousses sont haut placées	Culture pure: env. 38 dt/ha Env. 26 dt/ha en cult. associée avec l'avoine de printemps (Dierauer <i>et al.</i> 2017)	Culture pure: jusqu'à 13 dt prot. brute/ha Culture associée (30–35 % de lupin): jusqu'à 9 dt prot. brute/ha (Arncken <i>et al.</i> 2016)
Féveroles	<i>Vicia faba</i> spp.	Profond, lourd, calcaire (Dierauer et Böhler 2009)	Mieux adaptées que les pois protéagineux aux régions avec > 1000 mm de précipitations annuelles (les féveroles de printemps supportent le gel jusqu'à -4 °C) (Dierauer et Böhler 2009)	0 à +	0	Culture pure: 30–50 dt/ha Env. 24 dt/ha en cult. associée avec l'avoine de printemps (Dierauer <i>et al.</i> 2017)	Culture pure: jusqu'à 15 dt protéine brute/ha Culture associée (30 % de fév.): env. 7 dt prot. brute/ha (Dierauer <i>et al.</i> 2017)
Haricot à rames ou haricot d'Espagne en culture associée avec le maïs	<i>Phaseolus vulgaris</i> ; <i>Phaseolus coccineus</i>	Chaud et riche en humus, pH 6–7, à des endroits sans vent (George et Beck 2009)	Culture sensible au gel. Nécessite des températures > 12 °C. Besoins accrus en eau au début de la floraison (George et Beck 2009)	- à 0	0	Autriche: 20–25 dt/ha en culture pure et 8–15 dt/ha en cult. associée avec du maïs grain (Sommer et Höbaus 2017)	Culture pure: jusqu'à 5 dt prot. brute/ha Culture associée (20 % de haricots): jusqu'à 3 dt prot. brute/ha

*+ Bon/rapide 0 Moyen - Mauvais/lent

premières végétales d'origines différentes, alors que certains processus de transformation telles la cuisson, l'extrusion ou la fermentation, peuvent nettement améliorer la disponibilité des protéines (Day 2013; Guéguen *et al.* 2016).

Teneurs en protéines et qualité

La composition nutritionnelle des légumineuses décrites précédemment est présentée dans le tableau 2. Dans le tableau 3, les profils d'acides aminés des légumineuses sont comparés à la viande de bœuf et aux recommandations émises par l'OMS en 2007 (WHO/FAO/UNU 2007). Les coefficients d'efficacité protéique (CEP) ont également été comparés, car cette valeur est considérée comme un bon indicateur de la qualité d'une protéine (Boye *et al.* 2012).

Les féveroles ont une teneur en protéines un peu plus faible que le lupin blanc, mais leur qualité est bonne, avec un CEP de 2,4 pour les féveroles crues et de 2,7 lorsqu'elles sont cuites. En comparaison, le CEP des pro-

téines de soja varie entre 1,8 et 2,3, selon les traitements subis. Les AA soufrés (méthionine et cystéine) ainsi que le tryptophane et la valine sont limitants. En revanche, les féveroles contiennent une grande quantité de lysine (Khalil 1995; Crépon *et al.* 2010).

Le haricot à rames possède également des protéines de bonne qualité dans l'ensemble, mais en moindres quan-

Tableau 2 | Comparaison de la composition nutritionnelle (g/100 g) des sources de protéines végétales étudiées et de la viande de bœuf.

Source de protéines	Protéines	Lipides	Glucides	Fibres	Référence
Lupin blanc	36,3	11,5	40,4*	14,4	Sujak <i>et al.</i> 2006
Féveroles	29,2	1,1	44,1	2*	Khalil 1995
Haricot à rames	19,5	0,5*	55,8	6,4	Marzo <i>et al.</i> 2002
Viande de bœuf	21,4	5,4	0	0	Base de données suisse des valeurs nutritives

* = USDA Food composition Database (USDA 2017).

Tableau 3 | Profils d'acides aminés des sources de protéines végétales étudiées (en g/100 g de protéines dans les fèves crues), comparés au profil de la viande de bœuf et aux recommandations 2007 de l'OMS.

Acides aminés	Arginine*	Histidine*	Isoleucine	Leucine	Lysine	Méthionine + Cystéine	Phénylalanine + Tyrosine	Thréonine	Tryptophane	Valine	Référence
Lupin blanc (<i>Lupinus albus</i>)	11,4	3,3	4,3	7,8	4,9	2,5	5,6	3,5	0,6	4,1	Sujak <i>et al.</i> 2006
Féveroles (<i>Vicia faba</i>)	10,7	3,2	3,3	7,2	7,3	2,4	7,8	4,1	1,1	3,7	Khalil 1995
Haricot à rames (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	6,3	1	4,8	9,5	7,6	2,6	10,5	4,6	n.m.	5,7	Marzo <i>et al.</i> 2002
Viande de bœuf	n.m.	3,2	4,2	7,7	7,9	3,3	7	4,2	1	4,5	Friedman 1996
Recommandations OMS 2007	n.m.	1,5	3	5,9	4,5	2,2	3,8	2,3	0,6	3,9	WHO/FAO/UNU 2007

n. m.: non mentionné. *semi-essentiel.

tités que les autres végétaux examinés ici. Comme les féveroles, il présente un déficit d'AA soufrés (Marzo *et al.* 2002).

Les graines de lupin sont parmi les légumineuses les plus riches en protéines, avec toutefois des différences importantes entre les variétés. Ainsi, comparé aux lupins bleu et jaune, le lupin blanc contient non seulement plus de AAE, mais il présente aussi un meilleur CEP (2,87 contre 2,40 et 2,36). Les proportions de lysine, méthionine, tryptophane et valine sont faibles dans toutes les variétés (Sujak *et al.* 2006).

Facteurs antinutritionnels

Les composés antinutritionnels contenus dans les plantes peuvent influencer négativement la qualité et la digestibilité des protéines tout comme la disponibilité des acides aminés. Certains, par exemple les polyphénols (tannins) ou l'acide phytique, se lient aux protéines dont ils amoindrissent la digestibilité; d'autres, tels les inhibiteurs de trypsine, freinent l'activité des protéases intestinales (Sarwar Gilani *et al.* 2012). En plus des inhibiteurs de trypsine (Marzo *et al.* 2002; Sarwar Gilani *et al.* 2012; Multari *et al.* 2015), le haricot à rame et les féveroles contiennent également des lectines, dont les propriétés agglutinantes peuvent être source de problèmes digestifs (Guéguen 1983; He *et al.* 2015). Le tableau 4 compare l'activité des inhibiteurs de trypsine ainsi que des substances hémagglutinantes (lectines) dans les légumineuses étudiées et dans la farine de soja ayant subi divers traitements. On constate que naturellement ces activités sont quasi nulles dans le lupin et moyennes dans les féveroles ainsi que dans le haricot à rames. Elles sont les plus élevées dans la farine de soja dégraissée, mais peuvent être nettement réduites par un traitement thermique.

Ces végétaux peuvent aussi contenir d'autres facteurs antinutritionnels, qui réduisent la disponibilité, non pas des protéines, mais d'autres nutriments (p. ex. des minéraux) ou ont des effets délétères sur la santé. Ainsi, les graines de lupin par exemple contiennent parfois des alcaloïdes toxiques (BfR 2017). Les saponines sont aussi très répandues dans tous les protéagineux mentionnés ici: elles ont une action hémolytique et influencent la perméabilité des membranes (Francis *et al.* 2001; Multari *et al.* 2015). À cause de ces facteurs antinutritionnels, il est indispensable de traiter les matières brutes/natives afin d'en diminuer la nocivité.

Obtention de poudre de protéines

Plusieurs étapes sont nécessaires pour obtenir, à partir de légumineuses amyliées, des extraits protéiques sous forme de farine, de concentrat ou d'isolat (fig. 2).

Le procédé de transformation le plus simple est la mou-

Tableau 4 | Activité antitrypsine et hémagglutinante de quelques farines de légumineuses (Guéguen 1983).

Légumineuse	Activité antitrypsine (unités TI/mg MS)	Activité hémagglutinante (unité/mg MS)
Féveroles	5,6–11,8	25–100
Haricot à rames	13,2	n.m.
Lupin blanc (<i>Lupinus albus</i>)	<1	0,1
Farine de soja non traitée	70	n.m.
Farine de soja dégraissée	85	1600–3200
Farine de soja chauffée	0,63–5,5	25–200

n. m.: non mentionné.

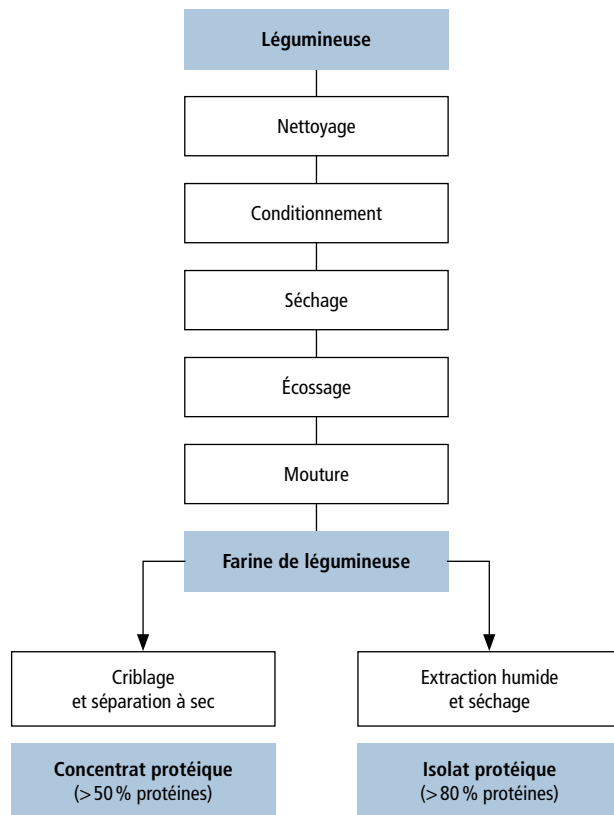


Figure 2 | Étapes de la fabrication d'extraits protéiques de légumineuses (farine, concentrat ou isolat), d'après Voisin *et al.* 2014.

ture à sec pour obtenir une farine complète, qui renferme tous les constituants des fèves entières et conserve donc à peu près la même teneur en protéines. Pour obtenir une teneur en protéines supérieure à celle des fèves, on peut faire appel à une méthode de mouture et de criblage par voie sèche, qui produit un concentrat (ou concentré) de protéines. La farine est ainsi séparée en plusieurs fractions, les protéines se retrouvant dans les fractions plus légères et l'amidon dans celles plus lourdes. En soumettant des féveroles à ce procédé, Guegen (1983) a obtenu un concentrat protéique à 68 % ainsi qu'un concentrat d'amidon.

S'agissant du haricot à rames, en revanche, la teneur en protéines du concentrat obtenu avec la même méthode était beaucoup plus basse, entre 40 et 53,5 % (van der Poel *et al.* 1990). Les auteurs de cette étude font en outre remarquer que le concentrat présentait des teneurs en inhibiteurs de trypsine et en lectines actives deux à quatre fois plus élevées que la farine.

Pour obtenir des isolats protéiques (teneur en protéines > 80 %), il faut fractionner par voie humide la farine de légumineuse, puis laver les fractions obtenues, afin de les débarrasser autant que possible de l'amidon, des fibres

et, le cas échéant, des lipides. La figure 3 montre les différentes étapes nécessaires à l'obtention d'un isolat de protéines de légumineuse.

Après une mise en solution aqueuse, on procède à une extraction alcaline qui permet de séparer les fibres des protéines et de l'amidon. L'extrait protéique basique est ensuite débarrassé de son amidon par filtration et centrifugation. Puis il est concentré, soit par précipitation isoélectrique à pH 4,5, soit par ultrafiltration, avant d'être séché dans un atomiseur pour donner une poudre. Selon le procédé utilisé et la sorte de légumineuse, on peut ainsi obtenir des isolats à 80 à 95 % de protéines. Selon la teneur en lipides des fèves de légumineuse, il peut être judicieux de les dégraisser avant. Actuellement, on trouve toutes sortes de concentrats et d'isolats de protéines végétales sur le marché.

Texturation des protéines végétales

La cuisson-extrusion est la principale méthode utilisée pour fabriquer des protéines végétales texturées ou PVT (fig. 4). Un cuiseur-extrudeur combine plusieurs opérations (mélange, pétrissage ou cuisson avec apport d'énergie mécanique) à une mise en forme par pressage à travers une filière (Weinberger 2016). La texture souhaitée est obtenue en modifiant la teneur en eau, les apports d'énergie mécanique et thermique ainsi que le temps de rétention. L'objectif est d'arriver à une structure aussi fibreuse que possible, qui imite celle de la viande.

Tableau 5 | Fabrication de PVT sèches ou humides: caractéristiques des procédés et des produits obtenus, d'après Weinberger (2016) et Phillips (2011).

	PVT sèches	PVT humides
Quantité d'eau dans la formulation	30%	60–70%
Température de l'extrudeur	160 °C	140–170 °C
Temps de rétention	Court	Moyen/long
Refroidissement en sortie de filière	Non	Oui
Traitement en aval	Séchage à moins de 10 % d'humidité	Emballage et stockage au frais jusqu'à consommation ou pasteurisation
Propriétés	Spongieuses	Davantage semblables à la viande
Indications d'utilisation	Tremper avant utilisation	Peuvent être apprêtées directement

La cuisson-extrusion peut être utilisée pour fabriquer des PVT humides ou sèches. Les caractéristiques du procédé et des produits obtenus sont présentées dans le tableau 5. Les concentrats et isolats à plus de 60 % de protéines sont ceux qui se prêtent le mieux à la fabrication de PVT. Les sources de protéines les plus souvent utilisées pour fabriquer des PVT sont le soja et le blé. Mais les protéines de pois et de lupin gagnent progressivement en importance (Weinberger 2016). Phillips (2011) propose une recette simple à base de 45 % d'isolat de soja, 45 % de concentrat de soja, 5 % d'amidon de blé et 5 % d'huile végétale.

Défis et amorces de solutions

Parmi les procédés présentés ci-dessus, c'est vraisemblablement la cuisson-extrusion «humide» qui se prête le mieux à la fabrication de substituts de viande appréciés des consommateurs. Les PVT obtenues sont les plus semblables à la viande et peuvent être apprêtées directement. Pour que ces produits soient acceptés par le plus grand nombre, il est essentiel que la formulation soit la plus simple possible. La combinaison de concentrats et d'isolats employés doit avoir une teneur en protéines élevée, des propriétés sensorielles neutres et une couleur claire. Il faut avant tout réussir à créer des structures fibreuses et agréables. Une des principales difficultés est certainement de masquer l'arôme spécifique (notes vertes, rappelant la fève) de ces sources de protéines. Par ailleurs, il vaudrait la peine de vérifier si, pour produire des aliments à base de protéines végétales, il est toujours nécessaire d'avoir recours aux procédés gourmands en ressources décrits précédemment. Ces derniers génèrent de grandes quantités de fibres et d'amidon, sous-produits pour lesquels il faut ensuite trouver des débouchés commercialement et écologiquement rentables. Ils consomment également

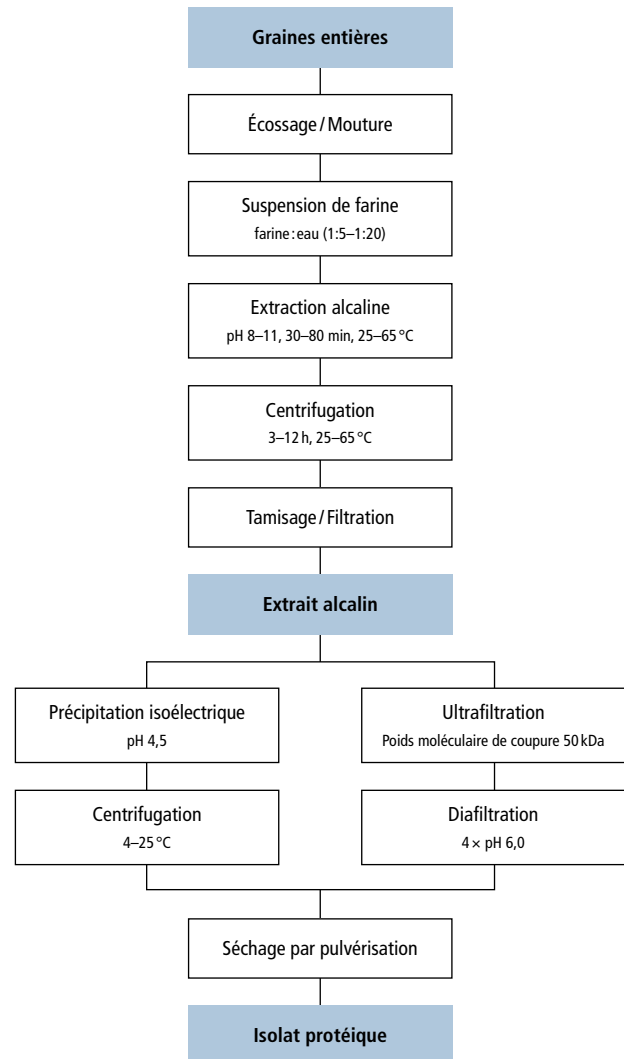


Figure 3 | Schéma du procédé utilisé pour obtenir des isolats de protéines de légumineuses, adapté d'après Boye *et al.* (2010) ainsi que Klupsaite et Juodeikiene (2015).



Figure 4 | Extrudeur à double arbre (à g.) et exemples de PVT sèches et humides (à dr.). (Photos: HAFL)

beaucoup d'énergie pour l'élimination de l'eau en amont, laquelle doit ensuite être rajoutée en fin de chaîne dans la formulation du substitut de viande.

La fermentation est un procédé naturel de transformation des légumineuses, qui a en outre l'avantage d'être économe en ressources. Il serait intéressant de l'étudier plus en détail. Le tempeh par exemple, un aliment traditionnel indonésien, résulte de la fermentation de fèves de soja par *Rhizopus oligosporus*. Il est riche en protéines dont la digestibilité a été améliorée par le processus qu'elles ont subi (Steinkraus cop. 1996). Berghofer et Werzer (1986) ont aussi pu le fabriquer à partir de fèves. Par ailleurs, la fermentation peut agir positivement sur l'arôme des sources de protéines employées. Ainsi, en fermentant un extrait protéique de lupin avec les bactéries lactiques *Pediococcus pentosaceus* et *Lactobacillus plantarum*, Schindler et al. (2011) sont parvenus à réduire significativement les arômes indésirables de «vert» et de «fève», ou à les masquer par des substances aromatiques agréables produites durant le processus. Mais ce n'est pas

tout: la fermentation permet de dégrader des composants indésirables. C'est ce qu'ont montré Ojokoh et Yimin (2011) avec plusieurs types d'extrudats de soja: après fermentation avec *Bacillus natto*, ceux-ci contenaient plus d'acides aminés libres, alors que leur activité antitrypsine et leur teneur en acide phytique avaient baissé. Durant la fermentation, il se forme en outre des composés de haute valeur nutritionnelle, telles des vitamines (Walther et Schmid 2017). Et enfin, les substances végétales fermentées peuvent également être une source de germes vivants bénéfiques, à même de coloniser le tube digestif humain (Ouwehand et Röytiö 2015).

Conclusion

La fermentation par le biais de divers microorganismes offre d'intéressantes possibilités de transformer des matières premières végétales en des aliments protéiques, non seulement savoureux, mais aussi extrêmement nutritifs. ■

■ Riassunto

Proteine vegetali come sostituto della carne: un'analisi per la Svizzera

Se si vuole aumentare l'autonomia d'approvvigionamento di proteine vegetali per l'alimentazione umana, occorre adottare un approccio globale. Il presente studio analizza la situazione in Svizzera in modo sistemico, illustrando quali piante ricche in proteine sono particolarmente indicate per la coltura sostenibile ed ecologica. Descrive quindi quale sia il loro potere nutrizionale e quali processi siano necessari per trasformarle in concentrati e isolati proteici che si prestano alla fabbricazione di sostituti della carne.

■ Summary

Vegetable protein as an alternative to meat: an assessment for Switzerland

If self-sufficiency in vegetable protein for the human diet is to be increased, the issue should be considered as comprehensively as possible. This study presents a systemic analysis of the situation in Switzerland, showing which protein-rich crops are most suited to sustainable and organic farming, highlighting their nutritional potential, and indicating the necessary steps for processing them into protein concentrates and isolates suitable for the production of meat alternatives.

Key words: vegetable protein, nutritional value, protein extraction, meat alternatives, fermentation.

Bibliographie

- Arncken C., Clerc M., Böhler D., Hohmann P. & Messmer M., 2016. Entwicklung eines praxistauglichen Mischkulturanbausystems für Lupinen im Biologischen Landbau der Schweiz. Zwischenbericht. FiBL.
- Berghofer E. & Werzer A., 1986. Herstellung von Tempeh mit einheimischen Bohnen. *Chemie, Mikrobiologie, Technologie der Lebensmittel* **10** (1/2), 54–62.
- Boye J., Wijesinha-Bettoni R. & Burlingame B., 2012. Protein quality evaluation twenty years after the introduction of the protein digestibility corrected amino acid score method. *British Journal of Nutrition* **108** Suppl 2, 183–211.
- Boye J. I., Aksay S., Roufik S., Ribéreau S., Mondor M., Farnworth E. & Rajamohamed S.H., 2010. Comparison of the functional properties of pea, chickpea and lentil protein concentrates processed using ultrafiltration and isoelectric precipitation techniques. *Food Research International* **43** (2), 537–546.
- Bundesinstitut für Risikobewertung, 2017. Risikobewertung des Alkaloidvorkommens in Lupinensamen, unveröffentlicht. OpenAgrar - Bundesinstitut für Risikobewertung.
- Crépon K., Marget P., Peyronnet C., Carroué B., Arese P. & Duc G., 2010. Nutritional value of faba bean (*Vicia faba* L.) seeds for feed and food. *Field Crops Research* **115** (3), 329–339.
- Day L., 2013. Proteins from land plants – Potential resources for human nutrition and food security. *Trends in Food Science & Technology* **32** (1), 25–42.
- Dierauer H., Böhler D., 2009. Merkblatt Bioackerbohnen. FiBL.
- Dierauer H., Böhler D., Kranzler A. & Zollitsch W., 2004. Merkblatt Lupinen. FiBL.
- Dierauer H., Clerc M., Böhler D., Klais M. & Hegglin D., 2017. Erfolgreicher Anbau von Körnerleguminosen in Mischkultur mit Getreide. Anbau der Schweiz, Zwischenbericht. FiBL.
- FiBL, 2016. Vom Saatgut bis zum Teller – Biosoja aus der Schweiz.
- Francis G., Makkar H.P. & Becker K., 2001. Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish. *Aquaculture* **199** (3-4), 197–227.
- Friedman M., 1996. Nutritional Value of Proteins from Different Food Sources. A Review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **44** (1), 6–29.
- George E. & Beck M., 2009. Ökologischer Gemüseanbau. Handbuch für Beratung und Praxis (2. Aufl.). Bioland Verlag, Mainz.
- Guéguen J., 1983. Legume seed protein extraction, processing, and end product characteristics. *Qualitas Plantarum Plant Foods for Human Nutrition* **32** (3-4), 267–303.
- Guéguen J., Walrand S. & Bourgeois O., 2016. Les protéines végétales. Contexte et potentiels en alimentation humaine. *Cahiers de Nutrition et de Diététique* **51** (4), 177–185.
- GVR, 2016. Meat Substitutes Market Analysis By Product (Tofu, Tofu-Based Products, Tempeh, Textured Vegetable Protein (TVP), Other Soy Products, Seitan, Quorn), By Raw Material (Soy-Based, Wheat-Based, Mycoprotein) And Segment Forecasts To 2022. Grand View Research.
- HAFL, 2016. Pflanzliche Proteinalternativen für die Anwendung im Lebensmittel. Étude interne, non publié.
- He S., Simpson B. K., Sun H., Ngadi M.O., Ma Y. & Huang T., 2015. Phaseolus vulgaris Lectins: A Systematic Review of Characteristics and Health Implications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 0.
- Khalil A., 1995. The effect of cooking, autoclaving and germination on the nutritional quality of faba beans. *Food Chemistry* **54** (2), 177–182.
- Klupsaite D. & Juodeikiene G., 2015. Legume. Composition, protein extraction and functional properties. A review. *Chemical Technology* **66** (1).
- MAM, 2016. Meat Substitutes Market by Type (Tofu & Tofu Ingredients, Tempeh, Textured Vegetable Protein, Seitan, Quorn), Source (Soy-based, Wheat-based, Mycoprotein), Category (Frozen, Refrigerated), and Region - Global Forecast to 2022. Markets and Markets MAM.
- Marzo F., Alonso R., Urdaneta E., Arricibita F. J. & Ibáñez F., 2002. Nutritional quality of extruded kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L. var. Pinto) and its effects on growth and skeletal muscle nitrogen fractions in rats. *Journal of Animal Science* **80** (4), 875.
- Multari S., Stewart D., Russell W. R., 2015. Potential of Fava Bean as Future Protein Supply to Partially Replace Meat Intake in the Human Diet. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* **14** (5), 511–522.
- Ojokoh A. O. & Yimin W., 2011. Effect of Fermentation on Chemical Composition and Nutritional Quality of Extruded and Fermented Soya Products. *International Journal of Food Engineering* **7** (4).
- Ouwehand A. C. & Röytiö H., 2015. Probiotic fermented foods and health promotion. In: Holzapfel WH (Hrsg.). Advances in fermented foods and beverages. Improving quality, technologies and health benefits. Elsevier, Amsterdam, 3–22.
- Phillips G. O., 2011. Handbook of food proteins. Woodhead Publishing, Oxford, 432 p.
- Sarwar Gilani G., Wu Xiao C. & Cockell K. A., 2012. Impact of antinutritional factors in food proteins on the digestibility of protein and the bioavailability of amino acids and on protein quality. *British Journal of Nutrition* **108** Suppl. 2, 315–332.
- Schindler S., Wittig M., Zelena K., Krings U., Bez J., Eisner P. & Berger R.G., 2011. Lactic fermentation to improve the aroma of protein extracts of sweet lupin (*Lupinus angustifolius*). *Food Chemistry* **128** (2), 330–337.
- Schweizer Nährwertdatenbank, 2017. Accès: www.naehrwertdaten.ch
- Sommer E. & Höbaus E., 2017. Steirische Käferbohne. Ministerium für ein Lebenswertes Österreich. Accès: https://www.bmlfuw.gv.at/land/lebensmittel/trad-lebensmittel/spezialkulturen/steir_kaeferbohne.html [11.09.2017].
- Steinkraus K.H., cop. 1996. Handbook of indigenous fermented foods (2^e ed., rev. and expanded.). Dekker, New York, Basel etc.
- Sujak A., Kotlarz A. & Strobel W., 2006. Compositional and nutritional evaluation of several lupin seeds. *Food Chemistry* **98** (4), 711–719.
- Technavio, 2017. Global Meat Substitutes Market 2017-2021. Technavio.
- USDA, 2017. Branded Food Products Database.
- van der Poel T. F. B., Aarts H. L. M. & Kik M. J. L., 1990. Air classification of bean flour-effects on protein, antinutritional factors and the effect of a fines fraction on cultured explants of small intestinal mucosa. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **53** (2), 143–157.
- Voisin A.-S., Guéguen J., Huyghe C., Jeuffroy M.-H., Magrini M.-B., Meynard J.-M., Mougell C., Pellerin S. & Pelzer E., 2014. Legumes for feed, food, biomaterials and bioenergy in Europe. A review. *Agronomy for Sustainable Development* **34** (2), 361–380.
- Walther B. & Schmid A., 2017. Effect of Fermentation on Vitamin Content in Food. In: Frias J, Martinez-Villaluenga C, Peñas E (Hrsg.). Fermented foods in health and disease prevention. Academic Press, an imprint of Elsevier, Amsterdam, 131–157.
- Weinberger M., 2016. Vegetable-proteins serve as meat substitute. Trend to vegetarianism leads to wet texturates becoming established as mainstream product. *FleischWirtschaft International* **4**.
- WHO/FAO/UNU, 2007. Protein and amino acid requirements in human nutrition. WHO Technical Report Series No. 935. Accès: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/434111/1/WHO_TRS_935_eng.pdf