

Série: Sources alternatives de protéines dans l'alimentation animale

Les légumineuses comme alternative aux protéines importées

Annelies Bracher

Agroscope, 1725 Posieux, Suisse

Renseignements: Annelies Bracher, e-mail: annelies.bracher@agroscope.admin.ch



Les légumineuses à graines peuvent apporter une contribution précieuse à l'apport national en protéines.

Introduction

Les protéines et leurs éléments constitutifs – les acides aminés azotés – sont des éléments nutritifs essentiels tant dans l'alimentation humaine que dans l'alimentation des animaux de rente. Ils sont donc indispensables. La production d'aliments riches en protéines comme le lait, la viande ou les œufs, nécessite, selon l'espèce animale, des protéines végétales ou animales. Or, la forte dépendance de la Suisse et de l'UE vis-à-vis des importations de protéines et les quantités de ces dernières nécessitent une évaluation critique de la production animale à l'échelle mondiale. Cette situation est marquée par des conflits d'intérêts entre «alimentation humaine – alimentation animale – eau – carburant – terre associée – changement climatique». Les aliments fourragers protéiques provenant d'outre-Atlantique sont transportés sur des milliers de kilomètres et entraînent une déforestation problématique en Amérique du Sud. Parmi les autres aspects critiques de la situation figurent l'exi-

gence d'aliments pour animaux sans OGM ou farines de poisson discréditées en raison de la surpêche qu'elles engendrent. Dans ce contexte, les produits à base de soja sont à juste titre de plus en plus souvent critiqués par les organisations environnementales (AGROFUTURA 2011; WWF Suisse 2014). La branche et les politiciens suisses ont réagi à ce problème. Ils ont créé le Réseau suisse pour le soja, qui s'engage en faveur d'une culture responsable du soja et de l'augmentation des importations en provenance d'Europe. Actuellement, déjà 41 % des tourteaux de soja importés dans notre pays proviennent d'Europe (Réseau suisse pour le soja 2018).

Agroscope est concerné par cette thématique dans le cadre de son champ stratégique de recherche «Approvisionnement en protéines/efficacité des protéines» et soutient le développement d'une stratégie suisse pour l'approvisionnement en protéines. La série d'articles «Sources alternatives de protéines dans l'alimentation animale» traite du développement de nouvelles sources durables de protéines pour l'alimentation des animaux de rente dans les conditions suisses. Ces alternatives doivent, outre réduire la dépendance aux importations, nécessiter peu ou pas de terres agricoles et être produites dans le respect du climat. Il ne s'agit pas seulement de trouver un substitut au soja, mais aussi aux farines de poisson. Le potentiel d'économies résultant de l'amélioration de l'efficacité protéinique ou de la modification du comportement des consommateurs-trices, fait l'objet d'autres publications. Ce premier article de la série porte sur les légumineuses à graines; les graines oléagineuses et leurs sous-produits feront l'objet d'un deuxième article. Un troisième article sera consacré au potentiel que représentent les insectes et les algues. Pour toutes les sources de protéines alternatives, les restrictions d'emploi et d'autres critères tels que la disponibilité, l'impact sur l'environnement et les risques seront évalués sur la base des profils nutritionnels et les lacunes dans les connaissances identifiées.

Matériel et méthodes

La base de données pour l'évaluation des sources alternatives de protéines se fonde sur des statistiques agricoles nationales et étrangères. Elle sert à déduire l'évolution de la production, du commerce et de la consommation. Lorsqu'elles sont disponibles, les données pour l'établissement de profils nutritionnels sont tirées de données en ligne et hors ligne de la base de données suisse des aliments pour animaux (www.feedbase.ch). Les lacunes dans les données ont été complétées par des recherches bibliographiques.

Les produits à base de soja en tant que référence

Pour l'évaluation des aliments protéiques pour animaux, un profil idéal d'exigences a été établi en guise de grille d'évaluation. Ce profil vise à garantir des possibilités d'emploi des protéines alternatives aussi variées pour toutes les espèces animales que les produits à base de soja. Le profil nutritionnel des produits à base de soja sert de référence (tabl. 1) et se caractérise par une bonne qualité de protéines, une digestibilité élevée et une teneur élevée en matière azotée de plus de 40 %. Le boom mondial du soja repose, entre autres, sur un profil nutritionnel quasi idéal. La qualité des protéines requise dépend de l'espèce animale. Les animaux monogastriques sont plus exigeants que les ruminants qui peuvent bénéficier de la symbiose avec les microorganismes du rumen. Les besoins des porcelets exigeants ont servi de base (fig. 1). Les g d'acides aminés digestibles/MJ énergie digestible porc (EDP) ont été choisis comme paramètre. Les sources de protéines peuvent être classées de haute qualité si, par unité d'énergie, les acides aminés sont nettement supérieurs aux besoins afin de pouvoir compenser, dans les mélanges, les déficits en acides aminés des sources d'énergie. Par rapport à la quantité recommandée de lysine digestible par MJ EDP, les rapports lysine/énergie des farines de poisson et des produits à base de soja dépassent les besoins des porcelets, tandis que le gluten de maïs présente un déficit en lysine et en tryptophane et n'est donc pas idéal pour les porcelets. D'autres particularités limitant l'emploi des sources protéiques sont la qualité de la matière grasse et les traitements nécessaires des aliments dus aux composants antinutritifs. La qualité de la matière grasse dans l'aliment est évaluée à l'aide de l'indice IPI, dérivé de la teneur en acides gras ($IPI \text{ g/kg} = -0,3 \cdot SFA + 0,457 \cdot MUFA + 0,119 \cdot PUFA$), qui est utilisé comme facteur de restriction dans les mélanges des porcs à l'engrais. En outre, des critères tels que les besoins en surfaces, le potentiel de production nationale, l'origine des importations, la

Résumé

La principale source de protéines pour le bétail en Suisse est le fourrage grossier domestique (67 %), tandis que les importations de protéines fourragères s'élèvent à 25 %. La forte dépendance aux importations d'aliments riches en protéines, ainsi que leur provenance parfois problématique, ont mis la recherche de sources alternatives de protéines à l'ordre du jour politique. Le soja couvre 63 % des apports en protéines importées. Le remplacement des quelque 200 000 t de matière azotée (MA) issues de matières premières importées riches en protéines nécessiterait près de 75 % des terres ouvertes en Suisse. Une augmentation de la culture des légumineuses à graines jusqu'à 10 % des terres ouvertes pourrait générer 20 000 t de MA. En tant que plantes fixatrices d'azote, les légumineuses ont également des effets bénéfiques sur l'environnement. Les pois protéagineux, les féveroles et les lupins sont mieux adaptés au climat suisse que le soja. Les profils nutritionnels des légumineuses à graines varient toutefois considérablement. Seul le lupin jaune atteint la même teneur en MA que le soja. Les pois protéagineux et les féveroles affichent des teneurs en lysine/100 g MA égales, voire supérieures, à celle du soja. Les légumineuses à graines peuvent être utilisées par toutes les espèces animales. Cependant, elles fournissent des quantités insuffisantes en acides aminés soufrés (méthionine, cystine) et, dans certains cas, en thréonine et en tryptophane pour les animaux monogastriques exigeants, tels que les porcelets. Les composants antinutritifs contenus dans les légumineuses nécessitent un traitement thermique pour les inactiver. Dans l'ensemble toutefois, les légumineuses à graines contribuent de façon appréciable à améliorer l'autonomie fourragère, même si les importations de soja ne peuvent être remplacées que de manière limitée par d'autres espèces de légumineuses ou de soja indigène.

concurrency avec l'alimentation humaine et l'impact environnemental doivent également être pris en compte. Plus une source de protéines s'écarte des exigences, plus son emploi est limité. En outre, les sources de protéines ne sont pas interchangeables à l'échelle 1:1.

Tableau 1 | Profil d'exigences des sources alternatives de protéines pour l'alimentation animale.

	Critères	Tourteau d'extraction de soja 48	Tourteau de presse de soja	Graine de soja	Profil idéal d'exigences ¹
Profil nutritionnel	MA g/kg MS	530–600	400–520	350–450	>400
	MG g/kg MS	10–30	50–150	150–250	<150
	CB g/kg MS	30–55	45–75	35–75	<100
	ADF g/kg MS	55–95	60–150	80–130	<140
	NDF g/kg MS	60–120	115–180	115–210	<200
	LYS g/100 g MA	6,13	6,01	6,41	>6,0
	MET g/100 g MA	1,44	1,37	1,36	>1,4
	CYS g/100 g MA	1,38	1,55	1,60	>1,4
	THR g/100 g MA	3,93	3,86	4,01	>3,7
	TRP g/100 g MA	1,34	1,31	1,30	>1,2
	g LysDi/MJ EDP	1,86	1,44–1,58	1,25	>0,8
	g (Met+Cys)Di/MJ EDP	0,82	0,67–0,75	0,53	>0,6
	g ThrDi/MJ EDP	1,13	0,86–0,96	0,72	>0,6
	g TrpDi/MJ EDP	0,40	0,30–0,34	0,23	>0,2
	IPI g/kg MS	1,0–3,3	7,1–17,8	21,8–32,2	<15
	dMO % Bovin	90–92	90	83–88	>80
	dMO % Porc	87	90	83	>80
	dAMIS % Porc	80–93 si traitement thermique			>80
	NEL MJ/kg	7,3–8,1	7,5–8,3	9,4–10,6	>7,0
	EDP MJ/kg	15,5–17,2	15,1–18,1	17,1–18,6	>14,0
EMVo MJ/kg	10,0–11,5	10,5–14,1	14,0–16,3	>8,0	
ANF*	Inhibiteurs de la trypsine, lectine, saponine			Aucun	
Traitement des aliments	Traitement (hydro)thermique			Si nécessaire	
Spécial	Sous-produit d'huilerie			Sous-produits et déchets	
Espèce cible possible	Ruminants, porcs partiellement dû à l'indice IPI, volaille, chevaux, poissons.			Ruminants, tous les porcs, volaille, chevaux, poissons	
Besoins en surfaces	Terres cultivables, 2,7 t de graines/ha, ~ 1000 kg MA/ha			>1000 kg MA/ha ou sans besoin en terres cultivables	
Production domestique	Aucun tourteau d'extraction n'est produit en Suisse		Limites climatique et topographique, actuellement ~ 5600 t	Adapté au climat d'Europe centrale, > 20000 t	
Origine des importations	Brésil, Europe			Europe	
Impact environnemental	Fixation de l'azote, enrichissement de la rotation des cultures, prairie aux abeilles, déforestation			Empreinte faible, recyclage	
Concurrence avec l'alimentation humaine	Non	Non	Oui	Aucun	

*ANF = composants antinutritifs; ¹Dérivés du profil nutritionnel du soja et des besoins des porcelets.

Résultats et discussion

Sources de protéines en Suisse

Quelques remarques relatives à la production de fourrages en Suisse sont nécessaires pour dresser un état des lieux. La taille et la composition du cheptel d'animaux de rente déterminent la quantité et la qualité des besoins en aliments fourragers. Selon le Bilan fourrager (Agri-stat 2018), 8381 727 t de matière sèche (MS), 154 664 TJ d'énergie brute et 1 242 147 t de matière azotée (MA) étaient disponibles en 2016, toutes catégories d'aliments fourragers confondues.

La répartition de l'approvisionnement en protéines par catégorie d'aliments fourragers et par origine montre que 66,6 % de la MA provient du fourrage grossier domestique (fig. 2). Les prairies temporaires et permanentes fournissent donc la majorité des protéines. Ce fait est souvent oublié dans la polémique sur l'importa-

tion des aliments fourragers. 24,6 % des protéines sont importés sous forme de céréales, de sous-produits de meunerie, de brasserie, de l'amidonnerie ainsi que de sous-produits de sucrerie et d'huilerie. À cela s'ajoutent quelques composants d'origine animale et du fourrage grossier. Les tourteaux d'extraction et de presse d'oléagineux riches en protéines représentent 11,9 % de l'apport total en protéines. 80 % des protéines importées proviennent d'aliments fourragers qui ne conviennent pas à l'alimentation humaine.

Tous les aliments pour animaux importés ne sont pas à considérer comme des aliments protéiques à proprement parler. Par exemple, les céréales riches en énergie et leurs sous-produits contiennent également des quantités considérables de protéines.

Toutefois, l'approche globale doit être différenciée selon les catégories d'animaux. Les protéines contenues dans le fourrage grossier ne peuvent être utilisées dans

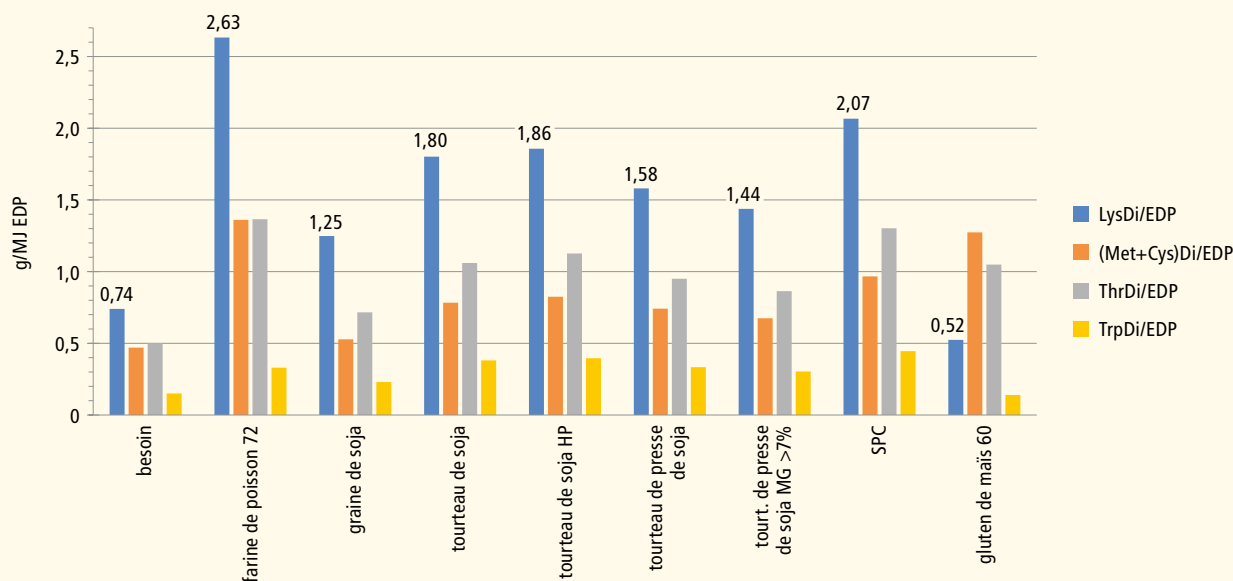


Figure 1 | Apports recommandés pour les porcelets pour LYS, MET+CYS, THR et TMA digestibles en g/MJ EDP et teneurs des produits à base de soja, de la farine de poisson et du gluten de maïs (HP = *High Protein*; SPC = concentré en protéines de soja)

l'alimentation des porcs et de la volaille qu'après des traitements spécifiques. Cette catégorie d'animaux dépend donc d'un approvisionnement en protéines de haute qualité provenant d'aliments complets, de déchets et de sous-produits. Alors que 86,5 % des protéines destinées aux bovins sont d'origine domestique, cette part n'est que de 34,5 % pour les porcs et de 13,8 % pour la volaille. La ration des animaux monogastriques se compose principalement d'aliments composés à base de matières premières riches en énergie et en protéines, ce qu'a confirmé une étude sur l'alimentation des porcs (Bracher et Spring 2010). L'évaluation des données de 1665 bilans import-export de 2008 montre que, pondérée sur l'ensemble des types d'exploitations, la proportion des aliments composés à la consommation totale d'aliments pour porcs était de 85,7 %. L'importance des sous-produits (au sens d'aliments non mélangés, souvent liquides tels que le petit-lait) dans l'alimentation des porcs a encore diminué avec l'interdiction de distribuer les déchets de restauration. Les porcs et la volaille représentent ensemble 65,8 % des ventes d'aliments composés (Rapport annuel 2017, VSF). Les animaux monogastriques sont donc les principaux consommateurs de concentrés.

Importance croissante des importations de concentrés

La dépendance vis-à-vis des importations de matières premières n'a cessé de croître au cours des trente dernières années. Depuis 1990, la part des importations est passée de 30 % à 65,7 % (USP 2011; Agristat 2018). À partir de 2008, le volume des importations a dépassé

celui des aliments concentrés produits en Suisse. En ce qui concerne les matières premières riches en protéines, seulement 15 % environ proviennent de Suisse (Raaflaub et al. 2015). Plusieurs événements ont contribué à cette évolution. À la suite de la crise de l'ESB, les farines animales ont été interdites dans l'alimentation des ruminants en 1990 et l'interdiction totale de ces farines en 2001 a accentué le problème. Quelque 45 000 à 50 000 tonnes de farines de viande et d'os riches en protéines ont ainsi été perdues (Chaubert 1994). En 2011 s'y est ajoutée l'interdiction de distribuer les déchets de restauration, qu'il a fallu remplacer par environ 35 000 à 40 000 tonnes d'aliments concentrés, dont 7 000 à 8 000 tonnes d'aliments riches en protéines (USP 2011). Conséquence des mesures de politique agricole prises depuis le début des années 1990, la culture de céréales fourragères a fortement perdu en attractivité. Les surfaces cultivées ont été réduites et donc la quantité disponible de céréales fourragères a baissé de plus de 800 000 tonnes à 400 000 tonnes (VSF 2017). Le recul des sources de protéines d'origine animale (farines animales, farines de poisson) a été compensé par l'utilisation croissante de tourteaux d'extraction/de presse d'oléagineux importés (fig. 3). Outre les farines de poisson, les importations de protéines de pomme de terre ont également diminué pour des raisons de prix, tandis que les tourteaux d'extraction et de presse du soja sont passés de 27 000 tonnes (1990) à environ 275 000 tonnes (2016). Parmi les aliments importés riches en protéines, le soja couvre environ 63 % de l'apport en protéines. Les sous-produits du colza sont la deuxième source de protéines, suivis du gluten de maïs.

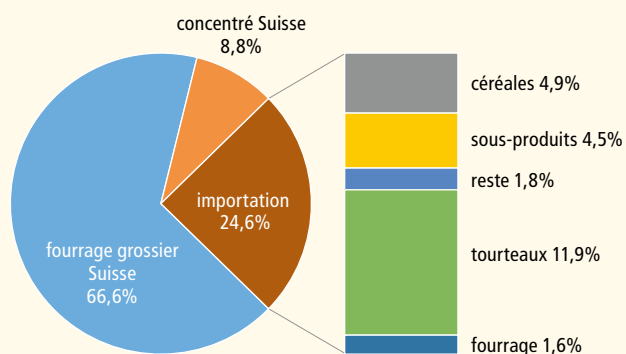


Figure 2 | Répartition de la matière azotée totale (MA) disponible pour les animaux de rente en Suisse, état 2016. (Agristat 2018)

Depuis 2008, le volume des importations de tourteaux d'extraction et de presse de tournesol et de drêches de céréales a augmenté. Les bouchons de luzerne importés ont progressivement augmenté depuis 2000.

Afin de réduire substantiellement la dépendance aux importations, il faudrait trouver un substitut pour les quelque 200 000 t de MA des matières premières importées riches en protéines. Avec un rendement en protéines d'environ 1000 kg/ha (base Soja Suisse), 200 000 ha de terres cultivables seraient nécessaires, ce qui correspond à environ 75 % des terres ouvertes en Suisse (Rapport agricole 2018). Autrement dit, il est urgent de trouver des sources alternatives de protéines nécessitant si possible très peu ou pas de terres cultivables.

Potentiel des légumineuses à graines

Une alternative au soja brésilien serait d'accroître la production domestique. Le soja est à la fois une légumineuse à graines et une graine oléagineuse qui séduit par ses diverses utilisations en alimentation humaine et animale. La forme d'utilisation la plus courante du soja comme aliment fourrager est le tourteau d'extraction (classes commerciales allant de *Low Protein* avec 42–44 % MA à *High Protein* avec 48 % MA) et le tourteau de presse. Ces deux sous-produits de la production d'huile de soja ne conviennent pas à l'alimentation humaine. En raison du faible rendement en huile de moins de 20 % (swiss granum 2017), l'importance des sous-produits du soja dépasse celle des autres graines oléagineuses. L'incitation à la culture du soja n'est pas basée principalement sur la vente d'huile. Sa prédominance mondiale en tant que source de protéines (OCDE-FAO 2018) repose sur un profil nutritionnel (tabl. 1) qui permet une utilisation universelle chez tous les animaux de rente. Le soja est également disponible toute l'année. L'aptitude à sa culture en Suisse est toutefois limitée par les conditions climatiques et topographiques. La production nationale pour 2017 s'est élevée à 5600 tonnes de graines (swiss granum 2018), qui peuvent également être utilisées dans l'alimentation humaine.

Contrairement au soja, les fèves, les pois protéagineux et les lupins sont mieux adaptés aux conditions climatiques de notre pays. Plantes fixatrices d'azote, les

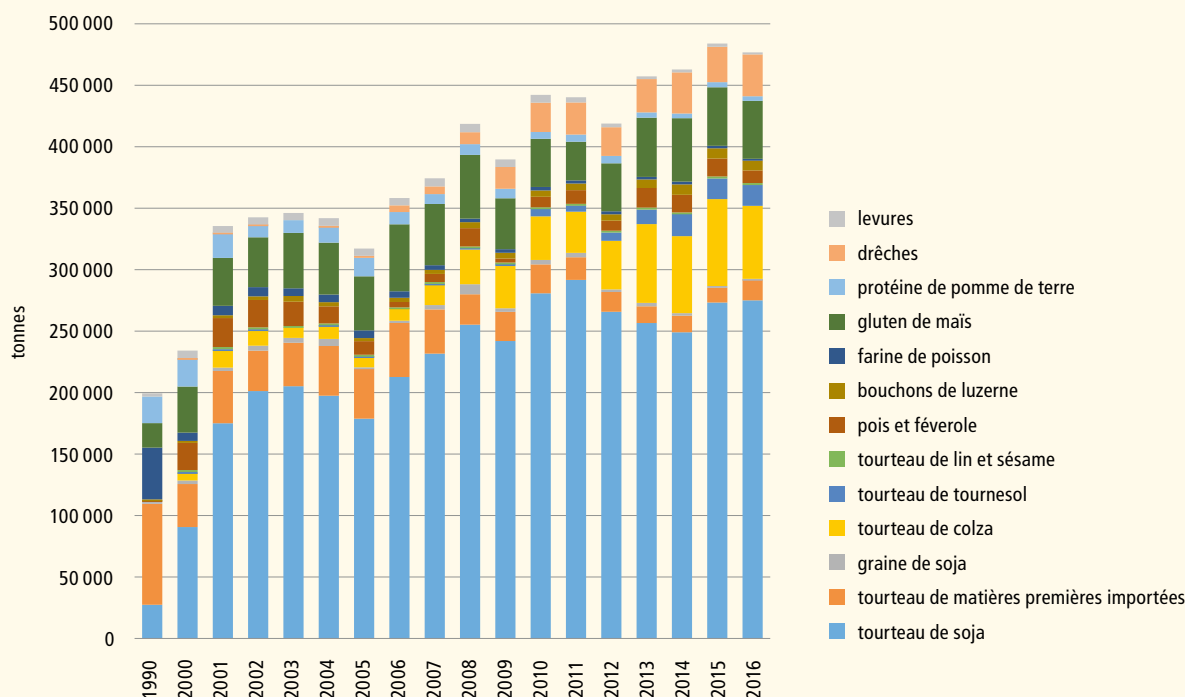


Figure 3 | Quantités importées des principales sources de protéines. (Swiss granum diverses années, Swiss-Impex)



Figure 4 | Éléments nutritifs de base (a) et teneur en fibres (b) des légumineuses à graines indigènes.

légumineuses à graines constituent un enrichissement précieux dans la rotation des cultures avec un effet fertilisant pour les cultures successives corrélé à un potentiel d'économie des gaz à effet de serre (Nemecek *et al.* 2015). Elles favorisent également la lutte contre les mauvaises herbes et servent de prairies aux abeilles. Les lupins à racines profondes ont une bonne résistance à la sécheresse. Les féveroles, les pois protéagineux et les lupins sont cultivés du sud au nord de l'Europe ainsi qu'au Canada et en Australie. Depuis plusieurs années, des efforts sont déployés pour étendre les surfaces cultivées en Europe et en Suisse. Sur les plateformes actuelles telles que LEGVALUE et TRUE, la recherche et l'industrie s'impliquent dans des projets communs pour promouvoir la culture des légumineuses (www.legvalue.eu; www.true-project.eu). Dans l'Union européenne des 28, 1,5 % seulement des terres cultivées sont dédiées à la culture des légumineuses à graines, avec des différences régionales importantes. Les fluctuations de rendement relativement élevées et le faible rendement des légumineuses à graines comparé à celui des céréales empêchent leur expansion (Watson *et al.* 2017; Charles *et al.* 2008). Contrairement aux efforts de sélection entrepris en Europe, le

succès a été au rendez-vous dans les programmes de sélection canadiens et australiens. Les efforts déployés ont rendu la culture des légumineuses à graines compétitive et en ont fait une marchandise d'exportation. Pour l'Europe, une proportion de 10 % de légumineuses à graines dans la rotation des cultures a été formulé comme un objectif réalisable (Watson *et al.* 2017). En 2016, les légumineuses à graines (y compris le soja) ont été cultivées sur 2,85 % des terres ouvertes (TO=272 698 ha) en Suisse. Une augmentation jusqu'à 10 % pourrait générer une quantité considérable de 18 900 à 26 600 t de MA, mais avec un rendement modeste en MA de 700 à 1000 kg/ha (tabl. 2), tandis qu'avec les mélanges graminées-trèfle, on atteint facilement le double.

Les aspects qualitatifs doivent également être considérés. Dans l'ensemble, les profils nutritionnels du groupe des légumineuses à graines sont assez hétérogènes (fig. 4, tabl. 2).

Avec une teneur en MA d'environ 415 g/kg de MS, seul le lupin jaune égale le soja (Schuhmacher *et al.* 2011). Même si les pois et les féveroles sont reconnues comme sources de protéines, l'élément nutritif dominant dans ces deux aliments et l'amidon, avec respectivement 500 g/kg de MS

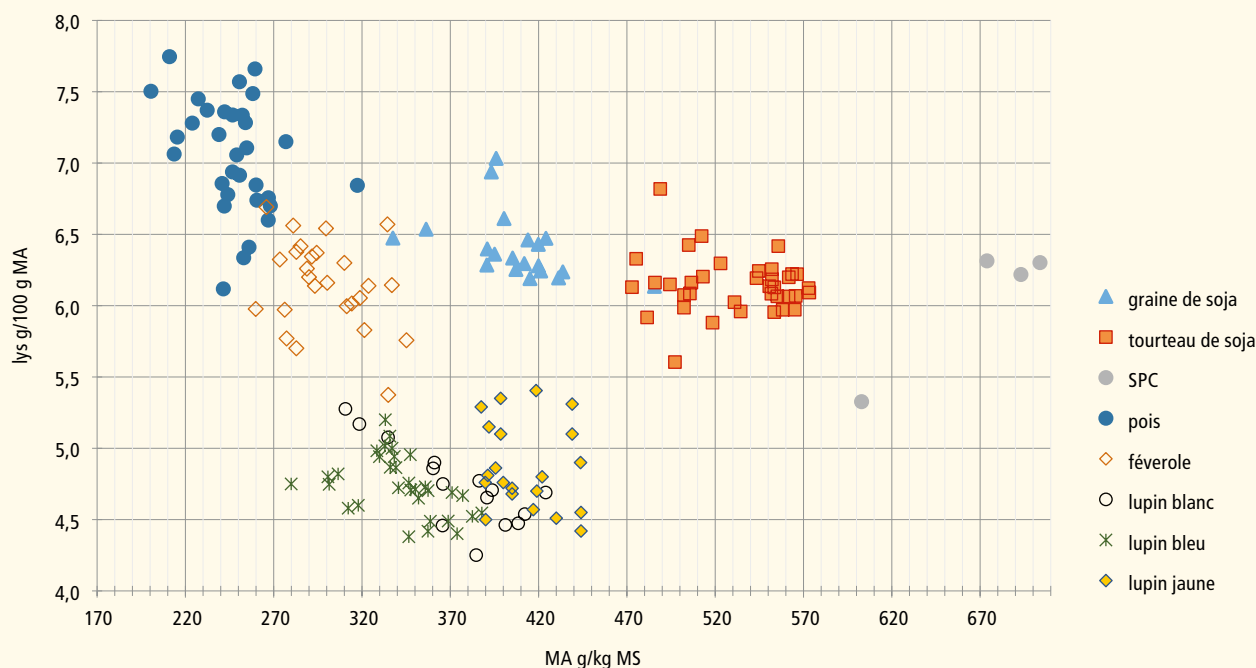


Figure 5 | Profil de la lysine des légumineuses à graines et des produits à base de soja en fonction de la teneur en MA (SPC = concentré de protéines de soja).

et 420 g/kg de MS. Chez les lupins, l'amidon joue un rôle secondaire. Or, les matières premières avec des teneurs en MA inférieures à 300 g/kg de MS limitent leur utilisation dans les concentrés protéiques, qui dans le commerce présentent une teneur en MA supérieure à 35 %. La teneur en matière grasse (MG) des pois protéagineux et des féveroles est similaire à celle des tourteaux d'extraction, tandis que celle du lupin blanc est légèrement supérieure à 100 g/kg de MS. En raison de sa teneur en matière grasse (environ 200 g/kg de MS), le soja est considéré comme une graine oléagineuse. Du fait de leur indice IPI élevé (plus de 20 g/kg de MS), les graines de soja (tabl. 1) et de lupin blanc (tabl. 2) ne peuvent être utilisées dans les rations pour porcs que de façon restreinte. Des pois protéagineux aux lupins en passant par les féveroles, les teneurs en CB, en ADF et en NDF vont en s'accroissant. La teneur en énergie des légumineuses à graines reste toutefois élevée. Par contre, la qualité des protéines des différentes légumineuses à graines diffère selon l'espèce (fig. 5, tabl. 2).

Le pois protéagineux se distingue des autres légumineuses à graines, dont le soja, de par sa teneur en lysine de 7,1 g/100 g de MA. La teneur en lysine de la féverole est similaire à celle du soja, tandis que celle des lupins est la plus faible (4,7 g de lysine/100 g de MA). C'est surtout au niveau des acides aminés sulfurés, à savoir la méthionine+cystine, que les valeurs du profil se situent dans une plage sous-optimale, ainsi que la thréonine et le tryptophane. Par MJ EDP, les teneurs en lysine sont suf-

fisantes pour les besoins des porcelets, tandis que les teneurs en méthionine+cystine digestibles et, en particulier dans le cas des pois protéagineux ainsi que des féveroles, les teneurs en thréonine et en tryptophane digestibles sont trop faibles, ce qui peut limiter leur utilisation dans les mélanges. Pour y remédier, on peut ajouter de façon ciblée des acides aminés synthétiques ou les combiner dans la ration avec des tourteaux d'extraction/de presse de colza comme source supplémentaire de protéines. Comme le montre la figure 5, la qualité des protéines dépend de la teneur en MA. Il existe une relation négative entre la teneur en lysine/100 g de MA et la teneur en MA dans les pois protéagineux, les féveroles et les lupins (sauf les lupins jaunes) aussi bien entre les espèces qu'à l'intérieur des espèces. Cette dépendance n'est pas apparente pour les produits à base de soja. Par conséquent, il ne faut pas négliger la qualité des protéines dans les programmes de sélection.

La valorisation de la valeur nutritive des légumineuses à graines est réduite en raison des composants secondaires (ANF = facteurs antinutritifs). Il s'agit notamment des inhibiteurs de la trypsine, des α -galactosides, des alcaloïdes, des glucosides, des lectines, des tanins et des saponines qui ont différents effets sur les processus digestifs (Jezierny *et al.* 2010; Heinze et Dunkel 2017). Les traitements (hydro)thermiques comme le «toasting» ou l'extrusion désactivent en grande partie les inhibiteurs de la trypsine et les lectines, ce qui améliore la digestibilité des protéines et des acides aminés

Tableau 2 | Profil nutritionnel des légumineuses à graines.

	Critères	Pois protéagineux	Féverole	Lupin bleu	Lupin blanc
Profil nutritionnel	MA g/kg MS	221 (n = 203)	296 (n = 48)	339 (n = 91)	369 (n = 45)
	MG g/kg MS	18,6	21,8	62,4	95
	CB g/kg MS	62,7	101,0	164	138,5
	ADF g/kg MS	87,2	127,0	205,4	169,6
	NDF g/kg MS	153,4	186,4	275,8	231,1
	Amidon g/kg MS	495	420	80	80
	LYS g/100 g MA	7,05	6,15	4,75	4,74
	MET g/100 g MA	1,0	0,75	0,65	0,76
	CYS g/100 g MA	1,36	1,21	1,37	1,59
	THR g/100 g MA	3,64	3,31	3,43	3,72
	TRP g/100 g MA	0,86	0,83	0,84	0,75
	g LysDi/MJ EDP	0,85	0,98	0,94	0,94
	g (Met+vCys)Di/MJ EDP	0,25	0,22	0,38	0,44
	g ThrDi/MJ EDP	0,40	0,46	0,64	0,70
	g TrpDi/MJ EDP	0,09	0,10	0,16	0,14
	IPI g/kg MS	2,34	4,02	8,82	27,45
	dMO % Bovin	89–95	83–91	89–94	91
	dMO % Porc	83–85	75–81	79–84	87
	dAMIS % Porc	73,3 ¹ – 85,2	74,3–78,5	83,9–85,9	76–85
	NEL MJ/kg	8,05	7,25	8,51	8,93
EDP MJ/kg	16,14	14,9	15,26	16,47	
EMVo MJ/kg	12,78	11,6	8,35	9,85	
ANF	Inhibiteurs de la trypsine, lectines, α -galactosides, tanins	Inhibiteurs de la trypsine, lectines, glucosides, tanins, α -galactosides, saponines	Inhibiteurs de la trypsine, α -galactosides, alcaloïdes, lectines, tanins, saponines	Inhibiteurs de la trypsine, α -galactosides, alcaloïdes, lectines, tanins, saponines	
Traitement des aliments	Traitement (hydro)thermique	Traitement (hydro)thermique	Traitement (hydro)thermique	Traitement (hydro)thermique	
Spécial	Faible résistance à la verse	Les variétés à floraison blanche ont une plus faible teneur en tanins	Résistant à la sécheresse, résistant aux maladies	Sensible aux maladies, résistant à la sécheresse	
Espèces cibles possibles	Porcs et volaille soumis à des restrictions, ruminants				
Besoin en surfaces*	Terres cultivables, 3,6 t/ha, ~ 700 kg MA/ha	Terres cultivables, 3,0 t/ha, ~ 800 kg MA/ha	Terres cultivables, 1,8–2,5 t/ha, ~ 800 kg MA/ha	Terres cultivables 2–3,5 t/ha, ~ 1000 kg MA/ha	
Production domestique*	9000–15 000 t	850–3200 t	148–360 t (115 ha en 2017)		
Origine des importations	Europe	Europe	Europe, Australie	Europe	
Impact environnemental	Fixation de l'azote, courtes distances de transport	Fixation de l'azote, courtes distances de transport	Fixation de l'azote, courtes distances de transport si provient d'Europe	Fixation de l'azote, courtes distances de transport	
Concurrence à l'alimentation humaine	oui	oui	oui	oui	

*Moyenne 2010–2017 (swiss granum, Agristat USP) ¹Sans traitement thermique

jusqu'à 10 % d'unités (Mariscal-Landin *et al.* 2002). Le traitement thermique réduit également d'environ 10 % d'unités la dégradabilité de la MA dans les lupins, qui sont fréquemment utilisés dans les rations pour vaches laitières, avec pour résultat une amélioration du bilan ruminal (Engelhard *et al.* 2017). En règle générale, les ANF dépendent de la variété, autrement dit, ils peuvent être modifiés par sélection. Les lupins doux sont le résultat d'une sélection réussie pour réduire leur teneur en alcaloïdes. Dans des essais antérieurs avec des porcs, on a pu montrer qu'avec une teneur en alcaloïdes >0,2 g/kg dans la ration l'ingestion et le gain journalier diminuent (Kim *et al.* 2007). Les variétés actuelles de lupins doux (blanc, jaune, bleu) affichent des teneurs en alcaloïdes inférieures à 0,4 g/kg de graines (Jansen *et al.* 2014). Parmi les légumineuses, la féverole présente la digestibilité protéique la plus faible en raison des teneurs

en tanins qu'elle contient (Jezierny *et al.* 2011). Comme ceux-ci se trouvent principalement dans les coques, la digestibilité des nutriments chez les porcs et la volaille peut être considérablement améliorée par le décorticage (Mariscal-Landin *et al.* 2002; Nalle *et al.* 2010). Des variétés à faible teneur en tanins sont disponibles. Les α -galactosides sont des oligosaccharides que les animaux monogastriques ne peuvent digérer que dans le gros intestin. En quantités excessives, ils peuvent entraîner des flatulences et des diarrhées. Les lupins blancs sont relativement riches en α -galactosides, de sorte qu'il faut les utiliser plutôt dans l'alimentation des ruminants. Chez les porcs à l'engrais, des pertes de performance ont été observées avec 15 % de lupins blancs dans la ration, tandis que pour les lupins bleus et jaunes, des proportions de 20 à 30 % ont été bien supportées (Kim *et al.* 2007).

Conclusions

- Les légumineuses à graines enrichissent la rotation des cultures et présentent un potentiel d'économies en ce qui concerne l'azote et les gaz à effet de serre.
- La production domestique des légumineuses à graines peut être étendue à 10 % des terres cultivées, bien que pour des raisons climatiques, l'aptitude à la culture du soja soit limitée dans notre pays. Jusqu'à 26 600 t de MA pourraient être produites. Mais, le soja importé ne peut être remplacé que dans une mesure limitée.
- Le niveau et la garantie du rendement, la résistance aux maladies, la qualité des protéines et les composants antinutritifs existants doivent être poursuivis dans les programmes de sélection.
- Pour exploiter leur potentiel nutritionnel, les légumineuses à graines doivent être soumises à des traitements thermiques.
- L'hétérogénéité des profils nutritionnels des légumi-

neuses à graines ne les rend pas interchangeables à volonté.

- Les légumineuses à graines peuvent être distribuées à toutes les espèces animales. Le profil d'acides aminés sous-optimal dans le cas de certains acides aminés (méthionine, cystine, thréonine, tryptophane) nécessite une complémentation adéquate ou une combinaison avec des sources de protéines appropriées pour les catégories d'animaux exigeantes (porcelets, volaille).
- La teneur en protéines des pois protéagineux et des féveroles n'est pas assez élevée pour qu'elles puissent être utilisées en proportions élevées dans des concentrés de protéines; cependant, dans d'autres aliments concentrés, elles contribuent de façon importante à améliorer l'autonomie fourragère.
- La teneur en protéines des lupins blancs et jaunes de plus de 350 g/kg de MS se situe dans une plage avantageuse avec toutefois un profil en acides aminés sous-optimal pour les animaux monogastriques. ■

Bibliographie

- Rapport agricole, 2018. Utilisation de la surface, Office fédéral de l'agriculture OFAG, Berne. Accès: www.agrarbericht.ch.
- Agristat, 2018. Statistiques et évaluations: Agents de production et environnement. Union suisse des paysans. Accès: <https://www.sbv-usp.ch/de/statistik/statistiken/produktionsmittel-umwelt/>. [15.11.2018].
- AGROFUTURA, 2011. Sojaimporte Schweiz: Möglichkeiten und Grenzen der Reduktion/Vermeidung von Sojaimporten in die Schweiz - Eine Untersuchung im Auftrag von Greenpeace (en allemand).
- Bracher A. & Spring P., 2010. Möglichkeiten zur Reduktion der Ammoniakemissionen durch Fütterungsmassnahmen bei Schweinen. Studie zuhanden Bundesamt für Landwirtschaft, Bern. SHL Zollikofen und Agroscope Posieux (en allemand).
- Charles R., Bovet V., Bouttet D., Poivet K., Casta P. & Bengochea A., 2008. Welche Körnerleguminosen für die Schweiz? *Agrarforschung* **15** (7), 320–325.
- Chaubert C., 1994. Les sous-produit de l'agro-alimentaire. ETH-Schriftenreihe zur Tierernährung Band **12**, 13–36.
- Engelhard T., Meyer A., Steingass H., Richard W. & Bulang M., 2017. Einsatz von blauen Lupinen als Eiweissfuttermittel in der Milchviehfütterung zur anteiligen Substitution von Rapsextraktionsschrot. *Forum angewandte Forschung*, Fulda, 21/22.3.2017, 108–111.
- Heinze A. & Dunkel S., 2017. Gehalte an antinutritiven Inhaltsstoffen und Mykotoxinen in heimischen Körnerleguminosen. *Forum angewandte Forschung*, Fulda, 21/22.3.2017, 146-149.
- Jansen G., Jürgens H-U., Beyrer H. & Seddig S., 2014. Alkaloidgehalt von blauen, gelben und weissen Lupinen. Vortrag DGQ in Kiel. www.jki.bund.de.
- Jezierny, D., Mosenthin, R. & Bauer, E., 2010. The use of grain legumes as a protein source in pig nutrition: a review. *Animal Feed Science and Technology* **157**, 11–128.
- Jezierny, D., Mosenthin, R., Sauer, N., Roth S., Piepho H.-P., Rademacher M. & Eklund M., 2011. Chemical composition and standardised ileal digestibilities of crude protein and amino acids in grain legumes for growing pigs. *Livestock Science* **138**, 229–243.
- Kim J. C., Pluske J. R. & Mullan B. P., 2007. Lupins as a protein source in pigs diets. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources* 2007 2, N° 003.
- Mariscal-Landin G., Lebreton Y. & Sève B., 2002. Apparent and standardised true ileal digestibility of protein and amino acids from faba bean, lupin and pea as whole seeds, dehulled or extruded in pig diets. *Animal Feed Science and Technology*, **97**, 183–198.
- Nalle C. L., Ravindran G. and Ravindran V., 2010. Influence of dehulling on the apparent metabolisable energy and ileal amino acid digestibility of grain legumes for broilers. *J. Sci. Food Agric* **90**, 1227–1231.
- Nemecek T., Hayer F., Bonnin E., Carrouée B., Schneider A. & Vivier C., 2015. Designing eco-efficient crop rotations using life cycle assessment of crop combinations. *European Journal of Agronomy* **65**, 40-51.
- OECD/FAO, 2018. OECD-FAO Agricultural outlook 2018-2027. Chapter 4. Oilseeds and oilseed products, 127–138.
- Raaflaub M., Bänninger A. & Künzler R., 2015. Importierte Eiweisssträger: Die Alternativen zum Sojaschrot und ihre Nachhaltigkeit. Ed. AGRIDEA 2015 (en allemand).
- SBV, Schweizerischer Bauernverband, 2011. Stärkung der Versorgung mit Schweizer Kraftfutter. Bericht der Arbeitsgruppe Futtermittel. Brugg.
- Schuhmacher H., Paulsen H. M., Gau A. E., Link W., Jürgens H. U., Sass O. & Dieterich R., 2011. Seed protein amino acid composition of local grain legumes *Lupinus angustifolius L*, *Lupinus luteus L*, *Pisum sativum L* and *Vicia faba L*. *Plant Breeding* **130**, 156–164.
- Réseau suisse pour le soja, 2018. Fiches d'information sur le soja. Accès: www.sojanetzwerk.ch [6.6.2018].
- Swiss granum, 2013 - 2018. Rapports annuels. Accès: www.swissgranum.ch.
- Swiss-Impex, 2018. Banque de données de la statistique du commerce extérieur, Administration fédérale des douanes. Accès: <https://www.gate.ezv.admin.ch/swissimpex/index.xhtml>.
- VSF, 2017. Rapport annuel. Accès: https://www.vsf-mills.ch/file/jahresberichte_pdf/18-04-17_JB17_d_v1.pdf [22.1.2019].
- Watson C. A., Reckling M., Preissel S., Bachinger J., Bergkvist G., Kuhlman T., Lindström K., Nemecek T., Topp C.F.E., Vanhatalo A., Zander P., Murphy-Bokern D. & Stoddard F., 2017. Grain Legume Production and Use in European Agricultural Systems. *Advances in Agronomy* **144**, 235-303.
- WWF 2014. The Growth of Soy: Impacts and Solutions. WWF International, Gland, Switzerland. Accès: <http://wwf.panda.org/?214091/The-Growth-of-Soy-Impacts-and-Solutions>, [24.1.2019].

Riassunto**Leguminose da granella come fonte alternativa di proteine rispetto alle proteine importate**

L'elevata dipendenza dalle importazioni di proteine e la loro provenienza a volte problematica ha spinto il mondo politico ad accelerare la ricerca di fonti alternative di proteine. La fonte principale di proteine per il bestiame in Svizzera è il foraggio domestico (67 %). Il 25 % delle proteine foraggere è importato. Tra gli alimenti importati ricchi in proteine, la soia copre il 63 % del fabbisogno in proteine. Per sostituire le circa 200 000 t di proteine provenienti dalle proteine importate, occorrerebbe coltivare circa tre quarti delle terre aperte. Un eventuale aumento della coltivazione di leguminose da granella fino al 10 % della superficie aperta genererebbe una produzione di 20 000 tonnellate di proteine. Le leguminose, in quanto piante che fissano l'azoto, hanno effetti benefici sull'ambiente. La coltivazione della soia in Svizzera è limitata per motivi topografici e climatici, ma i piselli proteici, le fave e i lupini si adattano meglio al clima svizzero. I profili nutrizionali delle leguminose da granella variano notevolmente. Solo il lupino giallo ha lo stesso contenuto proteico della soia. I piselli proteici e le fave hanno livelli di lisina/100g proteine pari o superiori a quelli della soia. Tutte le leguminose da granella forniscono quantità insufficienti di aminoacidi solforati (Met, Cys) e in parte tenori insufficienti di treonina e triptofano per animali monogastrici esigenti, come i suinetti. I componenti antinutrienti (ANF) contenuti nelle leguminose richiedono un trattamento termico per inattivarli. Nel complesso, tuttavia, le leguminose da granella contribuiscono in modo significativo al miglioramento dell'autosufficienza foraggera. Ma le importazioni di soia possono essere sostituite solo in misura limitata da altre specie di leguminose.

Summary**Grain legumes as alternative protein sources for imported protein-rich feed**

The low self-sufficiency rate for protein-rich feed and their partly problematic provenance has put the search for alternative protein sources on the political agenda. The main protein source for Swiss livestock is domestic roughage, which accounts for 67 % of the required amount. 25 % of the protein supply is imported. Among the protein-rich, imported feeds, soy covers 63 % of the protein supply. Substituting the roughly 200 000 t of protein originating from imported high-protein feed would take up close to 75 % of the Swiss arable surface. There still is potential to increase domestic grain legume production. As N-fixing plants, legumes have beneficial environmental effects. Growing pulses on up to 10 % of the arable area would generate approx. 20 000 t of protein. The suitability for soy farming is however limited. Peas, field beans and lupines are better adapted to the Swiss climate. The nutrient profiles of pulses differ from each other. Only yellow lupines attain a protein content comparable to that of soybeans. Peas and field beans are equal and even superior to soy protein with respect to g lysine/100g CP. All grain legumes, on the other hand, are deficient in S-containing amino acids (met, cys) and partly threonine and tryptophan when fed to demanding monogastric animals. The antinutritive factors (ANF) present in legumes require thermal treatment for their inactivation. Overall, grain legumes make a valuable contribution to increasing feed autonomy but soy imports will be substituted only to a limited extent.

Key words: feed protein, sources, self-sufficiency, grain legumes, nutrient profile.