

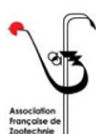


Matières premières innovantes pour l'autonomie protéique des élevages de volailles français : la graine de lupin

Synthèse des travaux du programme VOCALIM

Valérie Heuzé, Gilles Tran, Justine Danel, Emilie Recoules, Alain Quinsac, Sylvie Dauguet, Patricia le Cadre, Isabelle Bouvarel

20/07/2020



Avec la contribution financière
du compte d'affectation spéciale
«développement agricole et rural»



Table des matières

Etat de l'art.....	2
Appellations	2
Description	2
Présentation	3
Intérêt de la culture.....	3
Récolte	3
Stockage	3
Procédés de traitement de la graine de lupin.....	4
Traitements physiques	4
Traitements thermiques.....	4
Procédés d'amélioration	5
Farine de lupin selon le Brevet FR2660163A1.....	6
Caractéristiques nutritionnelles	7
Considérations générales.....	7
Contraintes potentielles	8
Alcaloïdes.....	8
Oligosaccharides.....	8
Valeurs nutritionnelles pour les volailles	8
Comparaison du lupin entier et du lupin décortiqué VOCALIM	8
Recommandations pour l'alimentation des volailles	12
Oligosaccharides.....	12
Décorticage	13
Extrusion.....	13
Enzymes	13
Poulets de chair.....	14
Poules pondeuses.....	15
Dindes	15
Canards.....	15
Pintades.....	15
Farine de lupin Farilup 500 : niveau d'incorporation, ingestion, gain de poids et indice de consommation.....	16
Farine de lupin Farilup 500 : digestibilité des protéines.....	17
Evaluation de la durabilité	18
Critères de durabilité.....	18
Données environnementales.....	18
Scénarios d'utilisation de la farine de lupin Vocalim	23
Potentiels d'utilisation	23
Ce qu'il faut retenir	25
Bibliographie.....	26

Graine de lupin (*Lupinus albus*)

Etat de l'art

Le programme VOCALIM propose d'améliorer l'autonomie protéique de la filière avicole française en cherchant à produire en France des matières premières riches en protéines capables de se substituer au tourteau de soja d'importation dans l'alimentation des volailles.

La graine de lupin décortiquée est une matière première potentiellement intéressante en France : bien que produite en faible quantité. Sa teneur en protéines de bonne qualité et sa richesse en énergie (elle contient une bonne quantité d'huile non extraite) en font une matière première de choix pour l'alimentation des volailles. Bien adaptée, elle pourrait constituer une source supplémentaire de protéines produites sur le territoire.

Cette fiche présente une synthèse des connaissances disponibles quant à l'utilisation des graines de lupin en alimentation des volailles et met en exergue les caractéristiques ainsi que les résultats obtenus pour la graine de lupin décortiquée lors des expérimentations VOCALIM sur les volailles.

Appellations

Les noms donnés à la graine de lupin sont fonction des procédés qu'elle a subis.

Tableau 1. Appellations des produits de la graine de lupin

Technologie	Noms
Pas de traitement	Graine de lupin entière, non traitée
Broyage, aplatissage	Graine de lupin entière broyée, flocons de lupin
Broyage, décortilage	Graine de lupin décortiquée broyée, farine de lupin décortiquée micronisée (en cas de broyage très poussé)
Extrusion (autoclavage +pression)	Graine de lupin extrudée
Toastage, broyage	Graine de lupin toastée, farine de lupin
Cuisson aux infra-rouge (aussi appelée micronisation), décortilage, broyage	Farine de lupin décortiqué, farine de lupin décortiqué, micronisé

Description

La matière première envisagée dans ces travaux est la graine de la plante nommée lupin blanc (*Lupinus albus*), récoltée à maturité. La graine de lupin blanc est utilisée en alimentation humaine et animale. Elle peut constituer une alternative au soja dans l'alimentation des animaux d'élevage en raison de sa teneur élevée (30 à 40%) en protéines de bonne qualité.

Le lupin blanc est la seule espèce cultivée de façon significative en France (Terres Univia, 2020). Selon les statistiques de la FAO, la France a produit de 15000 à 17000 tonnes de graines de lupin par an entre 2014 et 2017 (FAO, 2020). Cependant en 2017, la surface emblavée en lupin n'était que de 6500 ha (Terres Univia, 2018) et la production en 2018, puis en 2019, a considérablement baissé : 6 700 tonnes et 7700 tonnes respectivement (Terres Univia, communication personnelle). D'autres espèces de lupin sont cultivées pour leurs graines dans

le reste du monde : le lupin jaune (*Lupinus luteus*), répandu en Europe de l'Est, le lupin bleu ou lupin à feuilles étroites (*Lupinus angustifolius*), qui est la principale espèce cultivée en Australie, et le lupin perlé (*Lupinus mutabilis*) (Jansen, 2006). Toutes espèces confondues, la production mondiale de graines de lupin était d'environ 1 million de tonnes en 2014. La majorité (63%) des lupins sont produits en Australie, qui produit surtout du lupin bleu mais qui produisait aussi, en 2000, plus de 100 000 t de graines de lupin blanc (Petterson, 2000). Les autres producteurs de graines de lupin sont la Pologne, la Russie, l'Allemagne, la Biélorussie et l'Ukraine, totalisant 290 000 tonnes de graines de lupins, jaunes pour la plupart (Terres Univia, 2017).

Les graines de lupin blanc et jaune apportent plus de protéines que les graines de lupin bleu (Soya UK, 2017).

Présentation

Les graines de lupin sont commercialisées sous différentes formes : farine, miettes, granulés, flocons, graines entières en fonction de leur utilisation. Pour l'alimentation des volailles, elles sont généralement broyées et réduites en farine plus ou moins grossière dont les résidus de coques de lupin peuvent avoir été retirés (décorticage). Les farines les plus fines sont dites micronisées. Voir tableau « Appellations ».

NB : le terme micronisation recouvre deux concepts très différents - un broyage très fin OU une cuisson aux infra-rouges- qui peuvent engendrer une confusion pour les lecteurs. Le reste du document précisera à chaque fois à quel procédé le terme se réfère.

Intérêt de la culture

La culture de lupin contribue à la durabilité des systèmes de culture (Lucas et al., 2015). Non seulement les lupins sont des légumineuses fixatrices d'azote atmosphérique, mais ils ont la capacité d'extraire le phosphore insoluble des sols carencés en cet élément grâce à des structures racinaires appelées protéoïdes (Terres Inovia, 2019 ; Lambers et al., 2012).

Récolte

Les graines de lupin d'hiver se récoltent fin juillet et les graines de lupin de printemps de mi-août à mi-septembre, parfois plus tardivement si l'été a été frais (Penant, 2019). La récolte doit commencer dès que la teneur en eau des graines se situe entre 14 et 15% et lorsque l'humidité de l'air est suffisamment élevée (par exemple tôt le matin ou le soir) pour éviter que les gousses ne tombent ou que les graines ne soient éparpillées et pour optimiser la qualité de la graine (Penant, 2019 ; OGTR, 2013).

Stockage

Une fois récoltées, les graines de lupin peuvent être stockées, séchées ou ensilées. Ne contenant pas d'insectes, elles sont assez faciles à stocker. Quand les graines ont une teneur en humidité inférieure à 20%, une simple ventilation du silo de stockage suffit pour amener les graines à 14-15% d'humidité.

Les graines de lupin peuvent être aplaties et ensilées juste après la récolte, ce qui permet une récolte précoce (à forte teneur en humidité) et une bonne conservation des graines par inertage,

en particulier pour la fabrication d'aliments à la ferme (Terres Inovia, 2019 ; Strzelecki, 2015 ; Kemira, 2010).

Procédés de traitement de la graine de lupin

Les graines de lupin peuvent subir plusieurs sortes de traitements.

Traitements physiques

Broyage et tamisage

Les graines de lupin peuvent être broyées dans un broyeur à rouleaux ou à marteaux, puis passées au tamis. La taille du tamis peut varier de 100 µm à 8 mm en fonction de la qualité de la farine désirée : le produit final est une farine de lupin (Carrouée et al., 2003).

Décortilage, broyage et criblage fin

Le décortilage des graines de lupin se fait par écrasement/aplatissement des graines à l'aide d'un broyeur à plaques, suivi d'un tri mécanique des coques et de la fraction cotylédon (lupins décortiqués) (Brenes et al., 1993). Après décortilage, les graines peuvent être broyées et tamisées plus ou moins finement. Un brevet de 1990 présente un procédé de broyage et criblage permettant d'obtenir une farine de lupin constituée à 90% de particules de taille inférieure à 100 µm et de 60% de particules de taille inférieure à 30 µm (Auger et al., 1990). Dans certains cas, ces farines issues de broyage ultra-fin sont appelées « micronisées ».

Le décortilage réduit la teneur en fibres tout en augmentant la teneur en protéines et en matières grasses. Dans un essai, le décortilage a réduit la teneur en NDF de près de 75%, en passant de 18,5% à 5% MS (Brenes et al., 1993). Dans un autre essai, le décortilage a entraîné une augmentation de 10 à 23% des teneurs en protéines brutes et de 16 à 22% des teneurs en matières grasses (et même de 32% sur un cultivar) (Nalle, 2009).

Traitements thermiques

Chaleur sèche : toastage, micronisation

Toastage

Les graines de lupin peuvent être toastées entières (cuisson à sec) par flamme directe pour atteindre très rapidement une température de 105°C (Singh et al., 1995). Dans le cas de variétés amères, le toastage améliore la palatabilité en réduisant l'amertume (Nalle, 2009).

Chauffage infrarouge

Les graines de lupin peuvent être chauffées par des rayons infrarouges à une température de 135°C pendant 15 minutes avant d'être décortiquées et moulues pour en faire de la farine de lupin chauffée et décortiquée (Laudadio et al., 2017). Il faut noter que ce procédé est parfois appelé, lui aussi, « micronisation », ce qui est une source récurrente de confusion entre procédés et appellation des produits qui en résultent.

Chaleur humide

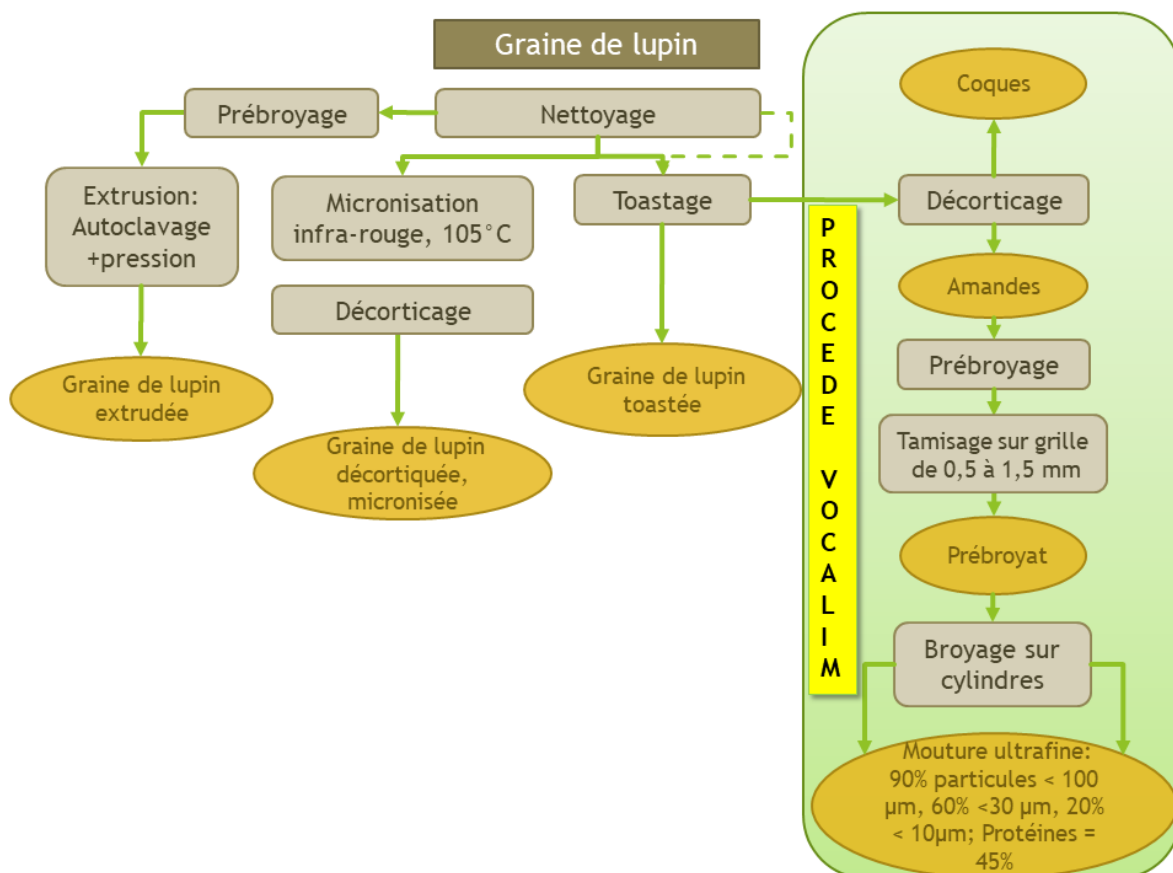
Autoclavage

Les graines moulues peuvent être autoclavées (cuisson à la vapeur) pendant des durées variables (10, 20 ou 30 min) et à des températures variables supérieures à 100°C (Brenes et al., 1993). La cuisson à la vapeur a pour effet d'éliminer les facteurs antinutritionnels labiles à la chaleur, à condition que les graines soient soumises à une température appropriée (Nalle, 2009).

Extrusion

L'extrusion combine, en une opération assez rapide, plusieurs traitements : mélange, cisaillement et cuisson humide à haute température sous haute pression, texturation qui sont appliquées aux graines de lupin moulues (Jang-Ho et al., 2012 ; Nalle, 2009). Les effets de l'extrusion peuvent être variables en fonction de la composition de la matière première, du degré d'humidité, de la pression et des températures subies. L'extrusion peut affecter l'amidon (gélatinisation), ainsi que les matières grasses (oxydation). Elle peut réduire les facteurs antinutritionnels et améliorer la durée de conservation en tuant les éventuels agents pathogènes. L'amélioration de la digestibilité des protéines dans les légumineuses à grains extrudés pourrait être due à l'élimination des facteurs antinutritionnels (Nalle, 2009).

Figure 1. Procédés de traitement des graines de lupin dont le procédé de décortiquage, micronisation de la farine de lupin VOCALIM



Procédés d'amélioration

Les traitements technologiques peuvent avoir des effets complexes, positifs et négatifs, sur la valeur nutritive de la graine de lupin (Nalle, 2009). La réduction de la teneur en fibres de la graine

de lupin associée à l'augmentation de sa teneur en protéines et à une diminution des facteurs antinutritionnels constitue une voie majeure d'amélioration de sa qualité nutritionnelle, et permettrait d'envisager plus largement l'utilisation de cette matière première en remplacement du tourteau de soja importé, notamment en monogastriques. Différents procédés visant à obtenir une fraction plus riche en protéines ont été proposés au cours des années, combinant des étapes de décortilage/ broyage /tamisage à des degrés divers. En 1990, un brevet de fabrication de farine de lupin a été déposé (Auger et al., 1990, Brevet FR2660163A1). Depuis, des farines sont disponibles commercialement (gamme Farilup de Terrena). Elles sont principalement utilisées en alimentation humaine, comme ingrédient dans les industries agro-alimentaires (boulangerie, biscuiterie, produits carnés...) en raison de leurs propriétés fonctionnelles.

La farine de lupin testée dans le cadre du projet VOCALIM est le produit Farilup 500, dite micronisée, dont 95% des particules sont inférieures à 500 µm. Des essais nutritionnels ont été réalisés avec cette farine de lupin pour en évaluer les débouchés possibles en alimentation des volailles.

Farine de lupin selon le Brevet FR2660163A1

Graines de lupin

Les graines entières de lupin sont soigneusement débarrassées des impuretés (corps étrangers du type poussières, éléments métalliques ou cailloux) ou de graines étrangères. Ce traitement peut se faire au moyen de séparateurs à tamis vibrants et/ou par aimant pour l'extraction des éléments métalliques. Elles sont ensuite calibrées afin d'éliminer les graines cassées et abîmées. Toutes les espèces de lupins peuvent être utilisées pour réaliser cette mouture. L'espèce utilisée ici est le lupin blanc doux.

Cuisson (facultative)

Les graines de lupin sont cuites par air chaud sur lit fluidisé, à des températures généralement comprises entre 85 °C et 170 °C (air chaud entrant). La cuisson a plusieurs effets positifs : elle provoque la rétraction des cotylédons dans le tégument, ce qui facilite le décortilage. Elle permet aussi la destruction des facteurs antinutritionnels et de la lipoxigénase (responsable du rancissement). La farine ainsi obtenue se conserve mieux. Les caractéristiques du produit final dépendent du couple temps/température. Plus la cuisson est poussée, plus le facteur d'insolubilité des protéines est augmenté. Le temps de séjour des graines dans l'enceinte peut varier de 30 secondes à 12 minutes. Une cuisson de 6 mn à 120°C (avec un débit de 750 kg/h) a donné d'excellents résultats de décortilage et n'a pas diminué la solubilité protéique ou la conservation de la farine.

Décortilage

Il peut se faire avec un décortiqueur centrifuge à choc ou par des systèmes à rouleaux à surface abrasive dont la vitesse est réglée en fonction du produit traité, de la cuisson qu'il a subie ou pas, et du résultat souhaité (cotylédons brisés ou non).

Séparation des coques et cotylédons

Cette étape est délicate à mettre en œuvre. Elle peut être réalisée par des techniques de séparation par air semblables à celles utilisées en meunerie, aboutissant à une séparation convenable des éléments : on ne retrouve pas plus de 2% de coques dans les cotylédons et pas plus de 1% d'amandes dans les coques.

Refroidissement

Les graines décortiquées sont ensuite refroidies avant leur broyage, afin d'éviter tout risque d'explosion.

Prébroyage

Le prébroyage des cotylédons peut être effectué au moyen de broyeurs à marteaux associés à des tamis dont les pores ont un diamètre allant de 500 à 2000 μm . A titre indicatif, une grille de prébroyage munie de perforations d'un diamètre de 1500 μm donne de bons résultats au niveau de l'écoulement de la farine (prébroyat) pour la mouture ultérieure.

Mouture finale

Le prébroyat passe dans un dispositif d'une ou plusieurs presses constituées d'une paire de cylindres lisses tournant en sens inverse, à des vitesses différentes et entre lesquels une pression de 10 à 80 bars maximum est exercée. Les cylindres écrasent le prébroyat et font éclater les cellules. Le différentiel de vitesse entre les cylindres améliore la qualité du broyage (formation de paillettes de produit). Un dispositif de mouture peut comporter trois groupes successifs de deux cylindres. Les cylindres s'échauffent lors du passage du prébroyat et il est nécessaire de les refroidir par une circulation d'eau interne. Ces moyens de refroidissement sont adaptés de telle sorte que la température d'eau de sortie ne dépasse jamais 32°C environ.

Résultats

Pour une graine de lupin doux cuite à 120°C et passée en prébroyage sur une grille à pores de 500 μm de diamètre, la mouture finale présente les caractéristiques de granulométrie suivante :

- 98% de particules de taille < 100 μm
- 75% de particules de taille < 30 μm
- 50% de particules de taille < 10 μm

La composition de la mouture selon le brevet (en % de la MS) est de 45% de protéines, 25,5% de fibres, 12% de matière grasse (contenant 86% d'acides gras insaturés), et 13,5% de sucres solubles.

Caractéristiques nutritionnelles

Considérations générales

La graine de lupin blanc est riche en protéines (30 à 40% sur brut) et plus riche en matières grasses (environ 8 à 9% sur brut) que le pois et la féverole. Elle est plus riche en protéines que le lupin bleu mais plus pauvre que le lupin jaune. Elle contient plus de lipides que les deux espèces précédentes (Sujak et al., 2006). Les graines de lupin ont des propriétés glucidiques uniques caractérisées par de faibles taux d'amidon (la méthode polarimétrique d'analyse de l'amidon indique à tort des niveaux d'amidon allant jusqu'à 10%), des taux élevés de polysaccharides non amylacés solubles et insolubles et des taux élevés de raffinose, qui peuvent tous affecter l'utilisation de l'énergie et la digestion d'autres nutriments du régime (van Barneveld, 1999).

Contraintes potentielles

Alcaloïdes

Les lupins blancs contiennent des alcaloïdes amers de type quinolizidine en quantités variables, allant de 120 mg/kg à plus de 30 000 mg/kg de MS. Ces teneurs élevées peuvent poser problème en alimentation des porcelets au-dessus de 20 mg/kg d'aliment (essai en Australie) et au-dessus de 120 mg/kg (essai en Pologne). Les variétés anciennes étaient riches en alcaloïdes et n'étaient pas recommandées pour l'alimentation animale, à moins d'être détoxifiées par trempage préalable dans l'eau. Les variétés modernes contiennent moins de 200 mg/kg d'alcaloïdes. Elles ont une croissance plus lente et sont appréciées par les animaux d'élevage (Buraczewska et al., 1993 ; Godfrey et al., 1985).

Oligosaccharides

Les graines de lupin blanc contiennent de 7 à 14% d' α -galactosides, le plus important étant le stachyose (2,8%), suivi par le saccharose (1,8%), le raffinose (0,4%) et le verbascose (0,3%) (Zdunczyk et al., 1996 ; Saini, 1989). La teneur en oligosaccharides dépend de la variété et des conditions de culture et de récolte (Pisarikova et al., 2009). Les α -galactosides peuvent avoir des effets nocifs sur la santé animale (flatulences), l'ingestion et les performances de croissance (Cherrière et al., 2003).

Valeurs nutritionnelles pour les volailles

Comparaison du lupin entier et du lupin décortiqué VOCALIM

Les tableaux et graphiques suivants présentent la composition chimique et la valeur nutritionnelle pour les volailles de la farine de graine de lupin entière (**Farine de lupin entier**) et de la farine de graine de lupin décortiquée micronisée testée dans le programme VOCALIM (**Farine de lupin VOCALIM**).

Composition chimique

La farine de lupin VOCALIM est nettement plus riche en protéines (44,4 vs 37,9% MS) et plus pauvre en cellulose brute (3,5 vs 13,3% MS) que la farine de lupin entier. Il est également plus riche en matières grasses (13,0 vs 9,6% MS). L'élimination des fibres concentre donc à la fois les protéines et les matières grasses. Conséquence directe de la plus haute richesse en protéines, les teneurs en acides aminés sont plus élevées pour la lysine, la thréonine et le tryptophane. Elles sont cependant inchangées pour les acides aminés soufrés, ce qui peut résulter de questions d'échantillonnage ou de variabilité naturelle du lupin.

Tableau 2. Composition chimique de la farine de lupin entier et de la farine de lupin VOCALIM (% MS)

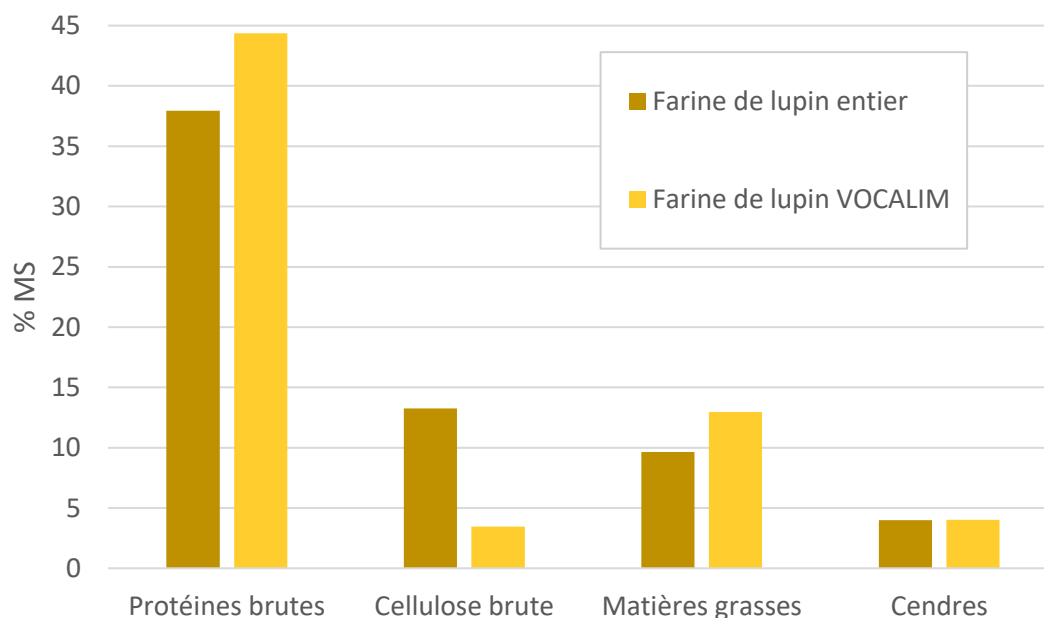
Type	Farine de lupin entier ⁽¹⁾	Farine de lupin VOCALIM ⁽²⁾
Protéines brutes	37,9	44,4
Cellulose brute	13,3	3,5
Matières grasses	9,6	13,0
Cendres	4,0	4,0
Fibres totales		36,4
Fibres solubles		2,1
Fibres insolubles		34,4
NDF ^[3]		8,3
ADF		3,9
ADL		0,4
Parois insolubles à l'eau	34,0	29,0
Lysine	1,85	2,09
Thréonine	1,41	1,60
Méthionine	0,30	0,30
Cystine	0,63	0,63
Tryptophane	0,26	0,32

(1) Tables INRA-CIRAD-AFZ, Octobre 2019

(2) Données VOCALIM

(3) NDF : Neutral Detergent Fibre ; ADF : Acid Detergent Fibre ; ADL : Acid Detergent Lignin

Figure 2. Composition chimique de la farine de lupin entier et de la farine de lupin VOCALIM (% MS)



Valeur énergétique pour les volailles

Le tableau suivant récapitule les valeurs énergétiques (EMAn, énergie métabolisable apparente corrigée pour un bilan azoté nul) mesurées ou estimées par équation.

Tableau 3. Valeur énergétique (EMAn poulet *in vivo* ou prédite) de la farine de lupin entier et de la farine de lupin VOCALIM (en kcal/kg MS)

Type	Valeurs mesurées ⁽²⁾	Equation INRA ⁽³⁺⁵⁾	Equation WPSA ⁽⁴⁺⁵⁾
Farine de lupin entier ⁽¹⁾		2646	2328
Farine de lupin VOCALIM ⁽²⁾	2767	3031	2834

(1) Tables INRA-CIRAD-AFZ, Octobre 2019

(2) Données VOCALIM, mesures *in vivo* sur poulets.

(3) Equation INRA : EMAn Coq (kcal/kg MS) = 37.05*MAT+81.96*(MGr+0.5)+39.87*Amidon+31.08*Sucres+0.933*EB-15.07*MAT-42.82*Parois)/2 (% sur MS), (Lessire communication personnelle 2002)

(4) Equation WPSA : EMAn coq WPSA (kcal/kg MS) = 39.64*MAT + 78.84*MGr + 3.72*(100-MAT-MM-CB-MGr) (% sur MS) (WPSA 1989). Le calcul de la valeur poulet est déduit de la valeur coq avec l'équation suivante.

(5) Equation de passage EMAn coq vers EMAn poulet : EMAn Coq -((0.019*4000*Amidon/100)+(0.039*9330*(MGr+0.5)/100)+24) (kcal/kg MS ou % sur MS), (Lessire communication personnelle 2002)

Les valeurs énergétiques de la farine de lupin VOCALIM estimée par équation (INRA et WPSA) sont plus élevées (+400 et +500 kcal/kg MS respectivement) que celles estimées pour la farine de lupin entier, ce qui s'explique par la teneur plus élevée en matières grasses et plus faible en fibres. La valeur mesurée dans le programme VOCALIM est similaire à la prédiction WPSA mais très inférieure à la prédiction INRA. Compte tenu de la grande variabilité observée dans la littérature sur les mesures d'EMAn sur volailles en lupin (qui vont du simple au double), ces résultats ne sont pas inattendus. On peut toutefois supposer que, dans des conditions d'utilisation identiques, la farine de lupin décortiqué (farine de lupin VOCALIM) bénéficie d'un bonus énergétique appréciable par rapport à la farine de graine entière (farine de lupin entier).

Valeur des acides aminés pour les volailles

Le tableau suivant récapitule les digestibilités iléales apparentes et les teneurs en acides aminés digestibles.

Tableau 4. Digestibilité iléale apparente de la farine de lupin entier et de la farine de lupin VOCALIM (valeurs poulets) (%)

Type	Farine de lupin entier ⁽¹⁾	Farine de lupin VOCALIM
Lysine	89	91
Thréonine	82	84
Méthionine	83	81
Cystine	81	79
Tryptophane	83	76

(1) Synthèse AFZ (2019)

(2) Données VOCALIM, mesurées *in vivo* sur poulets

Figure 3. Digestibilité iléale apparente de la farine de lupin entier et de la farine de lupin VOCALIM (valeurs poulets) (%)

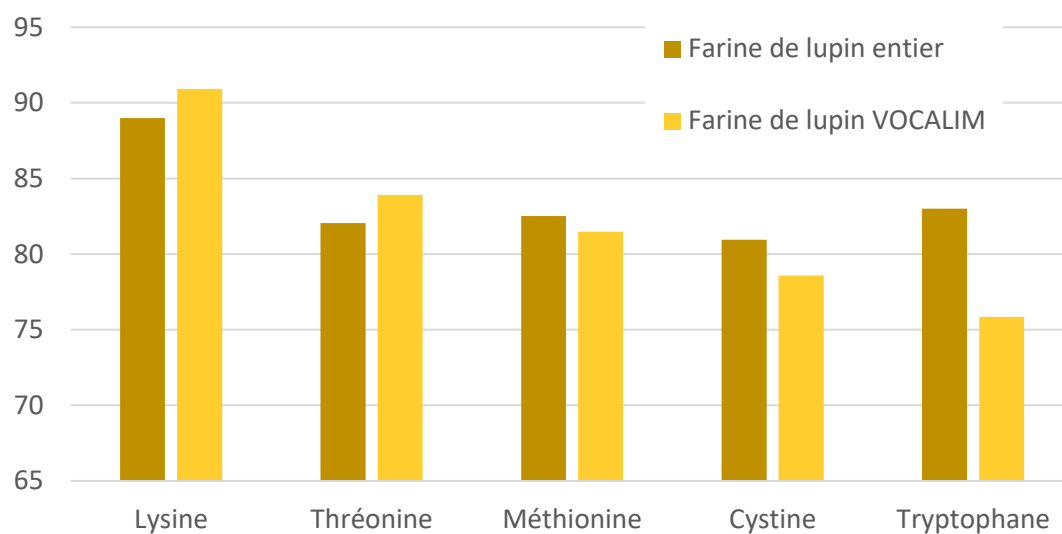


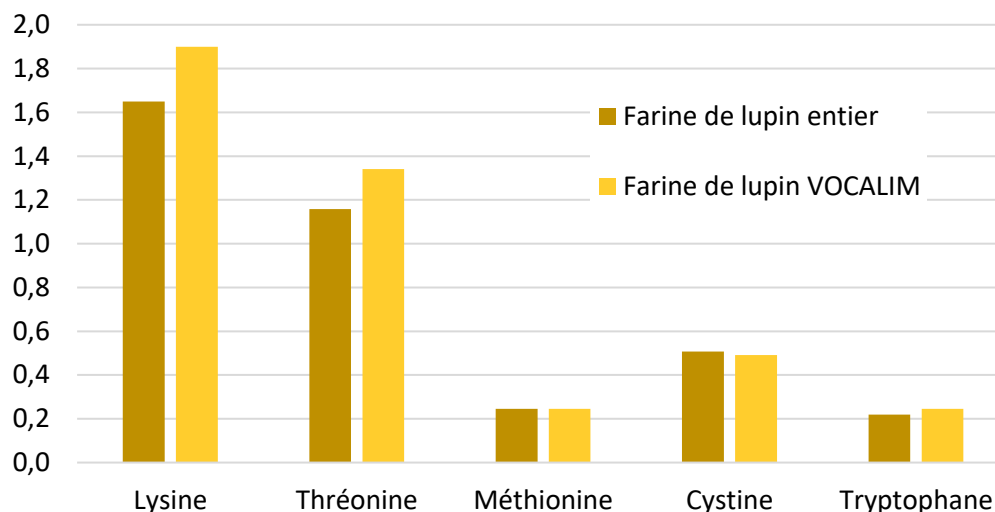
Tableau 5. Teneurs en acides aminés digestibles de la farine de lupin entier et de la farine de lupin VOCALIM (valeurs poulets) (% MS)

Type	Lupin entier ⁽¹⁾	Lupin décortiqué ⁽²⁾
Lysine	1,65	1,90
Thréonine	1,16	1,34
Méthionine	0,25	0,25
Cystine	0,51	0,49
Tryptophane	0,22	0,25

(1) Estimation INRA-CIRAD-AFZ Octobre 2019

(2) Valeurs VOCALIM, mesures in vivo - Poulets

Figure 4. Teneurs en acides aminés digestibles de la farine de lupin entier et de la farine de lupin VOCALIM (valeurs poulets) (% MS)



Les valeurs de digestibilité iléale apparente de la farine de lupin VOCALIM sont un peu meilleures pour la lysine et la thréonine que celles relevées dans la littérature scientifique, et plus faibles pour les acides aminés soufrés et le tryptophane. Cela se retrouve dans les teneurs en acides aminés digestibles. Il faut noter ici que les digestibilités iléales apparentes (poulet) des acides aminés du lupin sont mal connues : les tables 2017 du CVB indiquent par exemple une valeur unique de 90% pour tous les acides aminés. Il est donc difficile de conclure de façon certaine, faute de comparaison expérimentale directe, même si là encore on peut supposer une amélioration due à la plus faible teneur en fibres.

Recommandations pour l'alimentation des volailles

La valeur nutritionnelle et l'adéquation des graines de lupin pour l'alimentation des volailles varient fortement en fonction de l'espèce (lupin blanc, bleu, jaune), de la variété (douce ou amère), de la composition des graines et des procédés (Jeroch et al., 2016). La teneur en protéines, le profil en acides aminés et le profil en acides gras des graines de lupin suggèrent qu'elles sont des matières premières intéressantes pour l'alimentation des volailles, mais ces graines restent peu utilisées car elles sont peu disponibles pour les fabricants d'aliments ou les producteurs de volailles. L'intérêt du lupin en alimentation des volailles doit être discuté en fonction de son énergie métabolisable, de la digestibilité de ses acides aminés et de sa teneur en facteurs antinutritionnels (alcaloïdes, oligosaccharides, ...). Comme indiqué précédemment, les valeurs d'EMAn du lupin blanc sont extrêmement variables. La littérature indique des valeurs allant du simple au double pour l'EMAn en poulet de chair : de l'ordre de 1500-1800 kcal/kg MS pour Nalle et al., 2012, ou 2800-3200 pour Hughes et al., 1993 (cité par van Barneveld, 1999).

Oligosaccharides

Depuis l'avènement des lupins doux à faible teneur en alcaloïdes, les oligosaccharides sont le dernier problème subsistant lors de l'utilisation du lupin dans des régimes alimentaires bien équilibrés sur le plan énergétique, des acides aminés (apport en méthionine) et des minéraux. Les

alpha-galactosides ne sont pas digérés dans la partie supérieure du tube digestif des oiseaux : ils ne sont fermentés que dans le cæcum, produisant des acides gras à chaîne courte, peu utilisés chez les volailles. On sait que des niveaux élevés d'oligosaccharides produisent des effets négatifs sur les processus digestifs (augmentation de la viscosité du digesta, réduction de la digestibilité, fientes collantes...) et réduisent par conséquent les performances des animaux.

Lorsque les graines de lupin sont utilisées en grandes quantités (30% de l'aliment), l'énergie métabolisable et la digestibilité des acides aminés des lupins diminuent avec le niveau de raffinose et la viscosité de l'extrait aqueux des graines de lupin. Ceci pourrait être dû non seulement à une moindre qualité de l'aliment mais aussi probablement à des pertes endogènes causées par l'incorporation de lupin blanc (Kaczmarek et al., 2016). De petites quantités de lupin affectent cependant, favorablement les processus de fermentation et stimulent le microbiote intestinal chez la dinde (Zdunczyk et al., 1996).

Décortilage

La valeur nutritionnelle des graines de lupin peut être améliorée par le décortilage, car ce processus réduit la teneur en polysaccharides non amylacés (PNA) : le décortilage améliore considérablement la digestibilité de la matière sèche, la digestibilité des protéines, la digestibilité de l'amidon et l'EMAn (Nalle, 2009). Le décortilage des graines de lupin blanc (cv. Amiga à faible teneur en alcaloïdes) a augmenté les valeurs d'EMA de 15 à 18%, tandis que la digestibilité des protéines s'est améliorée de 7% (Brenes et al., 2003 ; Brenes et al., 1993). Cette augmentation de l'EMA pourrait s'expliquer en partie par l'élimination des coques fibreuses et par une réduction des polysaccharides solubles et totaux non amylacés (Nalle, 2009). Dans certains cas, le décortilage augmente également la digestibilité des acides aminés (Brenes et al., 1993 ; Nalle et al., 2010).

Extrusion

D'autres procédés comme l'extrusion ne se sont pas avérés efficaces pour améliorer la valeur nutritive des graines de lupin pour la volaille. Les graines de lupin extrudées ont entraîné une diminution de l'ingestion par rapport au témoin et aux graines de lupin non traitées chez les poulets de chair (Diaz et al., 2006). Cette ingestion réduite peut être attribuée au fait que les graines de lupin extrudées sont plus encombrantes dans le tube digestif que l'aliment contrôle ou que les graines de lupin non traitées (Diaz et al., 2006).

Dans un essai avec du lupin bleu doux, l'extrusion a fait baisser la valeur d'EMAn poulet (2290 kcal/kg contre 2000 kcal/kg MS). Cette baisse a également été attribuée à l'augmentation de l'encombrement des graines extrudées et à la moindre ingestion énergétique qui en résulte (Breytenbach, 2005).

Enzymes

Des tentatives ont été faites pour réduire les effets négatifs des oligosaccharides en ajoutant des enzymes (carbohydrases exogènes). Ceci a permis d'améliorer les performances des animaux recevant un aliment à forte teneur (50 et 70%) en lupin blanc non traité. Pour les animaux nourris avec un aliment contenant la même quantité de lupins traités (autoclavés, décortiqués), aucune amélioration n'a été enregistrée (Brenes et al., 1993).

Poulets de chair

Les résultats concernant l'utilisation du lupin blanc dans l'alimentation des poulets de chair ne sont pas conclusifs.

Graines de lupin non traitées

Des essais antérieurs à 2000 ont montré que des niveaux très élevés de graines de lupin pouvaient être inclus sans danger dans les aliments pour poulets de chair : des taux allant de 20-30% à 50-70% ont été proposés (Brenes et al., 1993 ; Castanon et al., 1990 ; Bekric et al., 1990). En cas de supplémentation en méthionine, le taux d'incorporation pouvait atteindre 40% (Buraczewska et al., 1993 ; Watkins et al., 1988).

Les recommandations expérimentales ont atteint 30-40% dans les régimes alimentaires équilibrés des poulets de chair (Olver, 1987 ; Uzu, 1983). Au taux de 40%, aucune différence dans les performances de croissance, l'efficacité alimentaire ou les caractéristiques de la carcasse n'a été observée chez les poulets de chair jusqu'à l'âge de 8 semaines (Olver, 1987).

Des travaux plus récents suggèrent cependant qu'il serait préférable d'utiliser des quantités moindres de graines de lupin crues en poulet de chair. Certaines expériences ont indiqué que jusqu'à 20% d'incorporation, les graines de lupin brutes n'avaient aucun effet négatif sur le gain journalier moyen des volailles ou sur le ratio de conversion alimentaire (Nalle et al., 2012 ; Moschini et al., 2005). Ceci est conforme aux observations antérieures de Roth-Maier en 1994 (Roth-Maier et al., 1994). Lorsque 25 à 45% de lupins blancs ont été ajoutés au régime des poulets de chair, aucune différence de poids corporel final n'a pu être observée, mais la consommation d'aliments et le taux de conversion alimentaire se sont détériorés d'environ 6%. De plus, au-delà de 25% de graines de lupin dans le régime alimentaire, le taux de matière sèche fécale des poulets de chair est tombé en dessous de 32%, les fèces sont devenues aqueuses et collantes, provoquant l'agglutination des plumes abdominales ou leur chute. On en a conclu que le niveau de lupin blanc ne devait pas dépasser 20% dans les aliments pour poulets de chair (Roth-Maier et al., 1994b). Un essai récent a rapporté un effet délétère du lupin sur la croissance à un taux d'inclusion de 20%, ainsi qu'une dégradation du taux de conversion alimentaire à un taux d'inclusion de 15% (Kaczmarek et al., 2016).

En Allemagne et en Pologne, les teneurs maximales recommandées en graines de lupin brutes dans des aliments bien équilibrés (en particulier pour la méthionine) ont été fixées à 5-10% dans les régimes de démarrage et jusqu'à 15-20% dans les poulets de chair plus âgés (Jeroch et al., 2016).

Dans le cadre d'élevage commerciaux de poulets de chair, le niveau recommandé de graines de lupin est inférieur à 10% en raison de la présence de fientes humides et d'une viscosité intestinale élevée (Farrell et al., 1999).

Graines de lupin extrudées

Le lupin extrudé et les graines de lupin crues ont été incorporés à 30% dans un aliment pour poulets de chair sur des périodes de croissance (1-21 jours) et de finition (22-42 jours). L'incorporation de lupin extrudé a eu un effet négatif sur la croissance sur chaque période, mais pas sur la période globale (Diaz et al., 2006). Les graines de lupin extrudées ont entraîné une ingestion inférieure à celle du témoin ou des graines de lupin brutes (Diaz et al., 2006).

Graines de lupin micronisées décortiquées

Il a été possible de nourrir des poulets de chair (14-49 jours) avec un régime contenant 24% de graines de lupin micronisées (chauffage infrarouge) décortiquées sans effet négatif sur leur taux de croissance ou sur le taux de conversion alimentaire par rapport au régime témoin (régime à base de tourteau de soja). En outre, l'inclusion de graines de lupin micronisées décortiquées a eu des effets positifs sur la qualité de la viande et notamment sur son profil en acides gras (Laudadio et al., 2011).

Poules pondeuses

Des poules pondeuses ont été nourries pendant 3 mois avec jusqu'à 30% de graines de lupin blanc lorsque le régime était complété par de la méthionine ou par de la méthionine et des enzymes (200 mg de Roxazyme) (Roth-Maier et al., 1994a ; Prinsloo et al., 1992). Des niveaux de lupin blanc allant jusqu'à 30% n'ont pas réduit les performances zootechniques, tandis que la couleur du jaune et les profils d'acides gras polyinsaturés des œufs ont été améliorés (Krawczyk et al., 2015).

Dindes

On a pu utiliser jusqu'à 40% de graines de lupin micronisées décortiquées dans un aliment pour dindes en croissance sans compromettre leur taux de croissance. En revanche, au même niveau d'incorporation, les graines de lupin non décortiquées ont fait baisser le taux de croissance des animaux. Cela pourrait s'expliquer par la teneur plus faible en fibres du régime alimentaire contenant des graines de lupin décortiquées (Halvorson et al., 1983).

Canards

Des canetons de type « Pékin » ont pu recevoir 40% de farine de graines de lupin blanc sans effet négatif sur la croissance, le taux de conversion alimentaire ou la qualité de la carcasse (Pettersson, 2000).

Pintades

Des pintades ont pu être nourries avec 24% de lupin micronisé décortiqué comme principale source de protéines pour remplacer la farine de soja sans effet négatif sur leur croissance, le rendement de carcasse ou sur les muscles de la poitrine et de la cuisse. Le régime à base de graines de lupin a permis de réduire la graisse abdominale, la teneur en lipides de la viande et le cholestérol tandis que la teneur en phospholipides a été augmentée. L'utilisation du lupin a eu des effets positifs sur les acides gras polyinsaturés (AGPI) de la viande de poitrine tout en diminuant les acides gras saturés : deux bénéfices santé pour le consommateur (Tufarelli et al., 2015).

Farine de lupin Farilup 500 : niveau d'incorporation, ingestion, gain de poids et indice de consommation

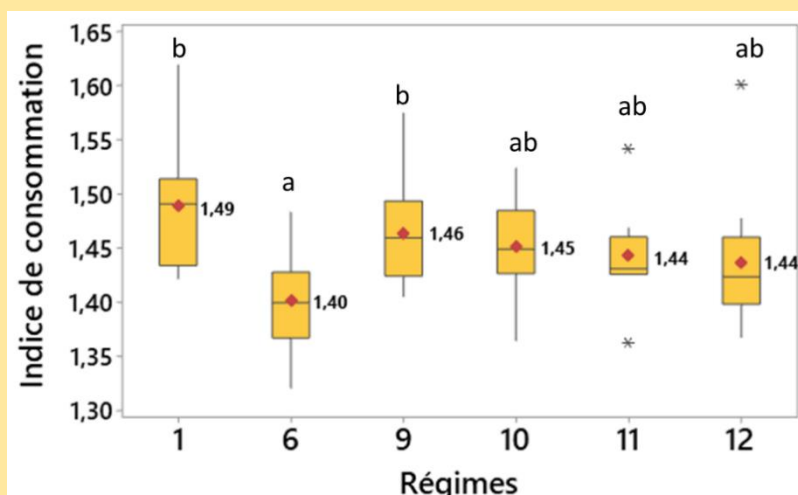
La farine de lupin Farilup500 a été incorporée dans des aliments pour poulets de chair en période de croissance. Les aliments étaient composés de blé, maïs, tourteau de soja et huile de soja. La farine de lupin a été incorporée seule ou en association avec des tourteaux de colza et de tournesol afin de réduire la part de tourteau de soja importé. La part de MAT apportée par ces matières premières locales était de 25%, 48% ou 70% selon les régimes alimentaires.

Le remplacement du tourteau de soja importé par des matières premières riches en protéines locales n'a pas entraîné de mortalité ou de morbidité chez les animaux.

Le poids vif à 28 jours était en moyenne de $1406 \pm 134,2$ g (min : 1106 g – max : 1663 g). Aucune différence significative n'a été observée entre les régimes.

Indice de consommation pour les poulets de 15 à 28 jours

Figure 2. Indice de consommation des poulets entre J15 et J28



1 : Régime témoin (tourteau de soja ; TS)

6 : TS + Farilup 500 -> MAT locale = 25 % MAT totale

9 : TS + Tourteau colza expeller + Tourteau tournesol HiPro + Farilup 500 -> MAT locale= 48 % MAT totale

10 : TS + Tourteau colza bluté + Tourteau tournesol bluté + Farilup 500 -> MAT locale= 48 % MAT totale

11 : Tourteau colza expeller + Tourteau tournesol HiPro + Farilup 500 -> MAT locale= 70 % MAT totale

12 : Tourteau colza bluté + Tourteau tournesol bluté + Farilup 500 -> MAT locale= 70 % MAT totale

L'indice de consommation le plus faible (1,40) est observé pour le régime 6, où la farine de lupin apporte 25% de la MAT totale. Cela peut s'expliquer par un gain moyen quotidien plus élevé que les autres régimes pour une consommation relativement comparable. Le régime témoin (maïs, blé, tourteau de soja) présente l'indice le plus élevé (1,49).

L'association de matières premières locales pour atteindre 48% de la MAT totale apportée par des matières premières locales (régimes 9 et 10) n'a pas d'effet négatif sur l'indice de consommation. Il en est de même lorsque le tourteau de soja est supprimé et que la part de MAT locale est augmentée à 70% de la MAT totale (régimes 11 et 12).

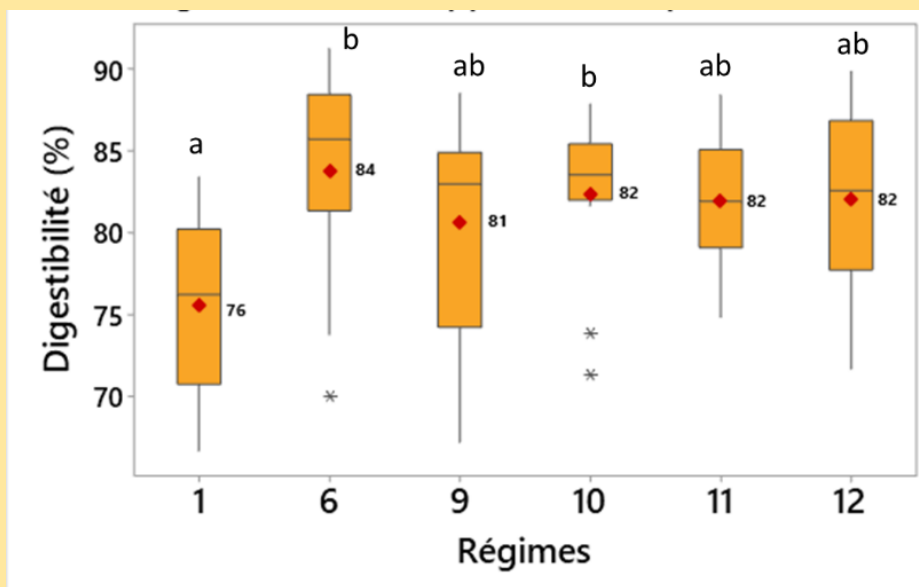
Ces résultats indiquent que la substitution partielle ou totale du tourteau de soja importé par des matières premières riches en protéines locales en période de croissance n'a pas d'effet négatif sur l'indice de consommation des poulets de chair.

Farine de lupin Farilup 500 : digestibilité des protéines

La digestibilité iléale apparente des protéines a été mesurée à J28 par marqueur indigestible (dioxyde de titane). Les mesures ont été faites au niveau de l'iléon distal.

Digestibilité iléale apparente des protéines

Figure 3. Digestibilité iléale des protéines



1 : Régime témoin (tourteau de soja ; TS)

6 : TS + Farilup 500 -> MAT locale = 25 % MAT totale

9 : TS + Tourteau colza expeller + Tourteau tournesol HiPro + Farilup 500 -> MAT locale= 48 % MAT totale

10 : TS + Tourteau colza bluté + Tourteau tournesol bluté + Farilup 500 -> MAT locale= 48 % MAT totale

11 : Tourteau colza expeller + Tourteau tournesol HiPro + Farilup 500 -> MAT locale= 70 % MAT totale

12 : Tourteau colza bluté + Tourteau tournesol bluté + Farilup 500 -> MAT locale= 70 % MAT totale

Les résultats indiquent que les régimes contenant les matières premières riches en protéines locales ont une digestibilité iléale apparente des protéines comparable ou supérieure au régime témoin. La digestibilité iléale des protéines observée dans les régimes les plus extrêmes (11 et 12) est tout à fait correcte (82%).

Tout comme pour les performances zootechniques, ces résultats indiquent que si l'on formule sur la base des acides aminés digestibles, la substitution partielle ou totale du tourteau de soja par des matières premières riches en protéines locales en période de croissance n'a pas d'effet négatif sur la digestibilité iléale apparente des protéines.

Critères de durabilité

Tableau 6. Critères de durabilité de la farine de lupin vs. tourteau de soja

Critères	Indicateurs	Tourteau de soja	Farine de lupin VOCALIM
Social	Part des protéines consommables par l'homme*	60 %	100 %
	Part de l'énergie consommable par l'homme*	38 %	100 %
Economique	Production : locale, européenne, mondiale	Mondiale	France
Environnemental	ACV		Voir graphiques ci-après
	Production sur terres déforestées	Possible	Non

Source : Laisse et al., 2017

La part de protéines et d'énergie consommable par l'homme mesure le degré de compétition de l'aliment pour animaux d'élevage vis-à-vis de son utilisation en alimentation humaine. Quand la part de protéines/énergie consommables par l'homme est élevée, le degré de compétition est élevé. Pour la farine de lupin, la totalité des protéines et de l'énergie est utilisée par l'homme, la compétition et utilisée par l'homme la compétition homme/animal est donc forte : c'est un critère invalidant pour la durabilité sociétale. En revanche la production sur le territoire français et les critères environnementaux sont favorables à sa durabilité.

Données environnementales

Les données environnementales sont issues de calculs d'impacts environnementaux par la méthode d'Analyse de Cycle de Vie (ACV). La méthodologie suivie pour la constitution des Inventaires de Cycle de Vie (ICV) est celle d'ECOALIM. Il s'agit d'un projet français (2013-2016) dont l'objectif était d'étudier les possibles améliorations des bilans environnementaux des élevages en optimisant l'alimentation des animaux. Les bilans environnementaux des matières premières (MP), des aliments du bétail et des produits animaux ont été renseignés par ACV (impacts Changement Climatique, Consommation d'énergie, Consommation de phosphore, Occupation de surfaces, Eutrophisation et Acidification). Le projet a produit 150 références environnementales de matières premières utilisées ou utilisables en alimentation animale, mises à disposition dans les bases de données référentes (Agribalyse, Feedtables.com). Ces données prennent en compte différents itinéraires de production pour les principales MP, et les différents lieux d'approvisionnement des fabricants d'aliments.

L'ACV de la farine de lupin décortiqué a été calculée dans le cadre du projet VOCALIM, à partir de la donnée « graines de lupin, sortie stockage » disponible dans la base de données ECOALIM. Les données d'itinéraire technique de culture de lupin sont issues d'enquêtes en parcelles d'agriculteurs, dans la principale région productrice (Pays de Loire, Poitou-Charentes, Bretagne-

Sud) pour les années de culture 2013 et 2015. Dans le projet VOCALIM, les données industrielles sur le décortiquage et broyage ont été prises en compte.

Les impacts environnementaux de la farine de lupin décortiqué ont été comparés à ceux issus de la base de données ECOALIM (V1 du 30/09/2015) du tourteau de soja d'importation du Brésil (trituré au Brésil et rendu au port de Brest), avec 2 types d'origine :

- Soja brésilien avec une « déforestation moyenne » : prend en compte les zones sans déforestation et les zones avec déforestation
- Soja brésilien non associé à la déforestation

Dans les graphiques ci-après, les impacts environnementaux sont ramenés au kg de matière première. Les rendements des cultures à l'hectare considérés dans cette analyse de cycle de vie sont : 10 q/ha pour le soja brésilien et 22 q/ha pour le lupin produit en France.

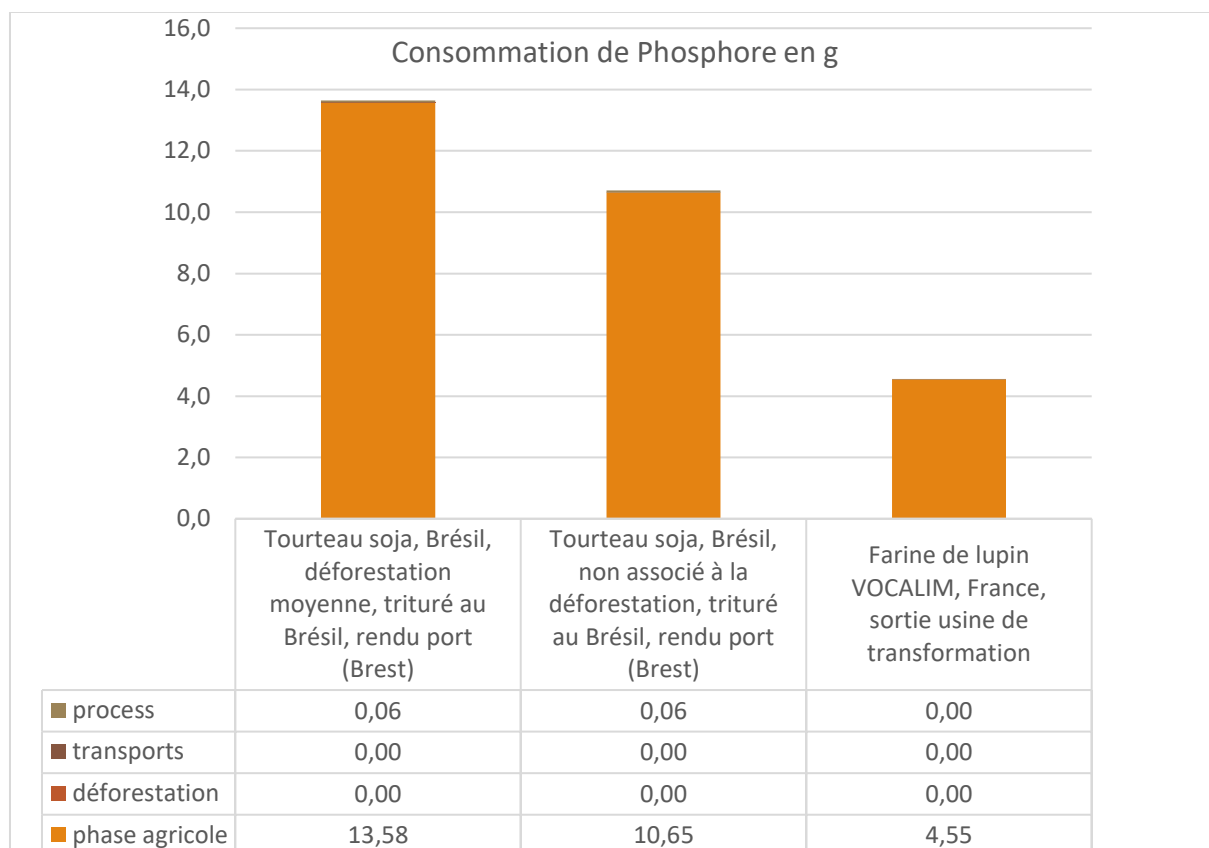
Les principales étapes du cycle de vie sont détaillées dans les graphiques :

- Phase agricole : comprend toutes étapes liées à la production agricole, les opérations mécaniques faites sur la culture (passage de tracteur et machines agricoles), les intrants de la culture ainsi que les impacts liés à la fabrication de ces intrants (semences, engrais, produits phytosanitaires, électricité pour irrigation), les émissions vers l'eau, sol et air qui ont lieu pendant la culture (N₂O, CO₂, nitrates, NH₃, phosphore, phosphates...) et consommations de ressources au cours de la production agricole (utilisation de surfaces, eau...)
- Déforestation : les émissions spécifiquement liées à l'opération de déforestation pour installer des cultures, dans le cas du soja produit dans la région Centre Ouest du Brésil.
- Transport : les transports des intrants des cultures, le transport des récoltes vers des organismes stockeurs, puis vers des usines de transformation, le transport international des marchandises entre pays exportateur et pays importateur.
- Process : les différentes opérations de transformation des graines après la récolte (séchage, stockage, décortiquage, broyage, extraction d'huile, désolvantation)

A noter que les matières premières comparées ont des caractéristiques sensiblement différentes (des teneurs en protéines de 44,4% à 46%) et donc ne rendent pas toutes les mêmes services (niveau d'incorporation dans les formules, apport en différents nutriments).

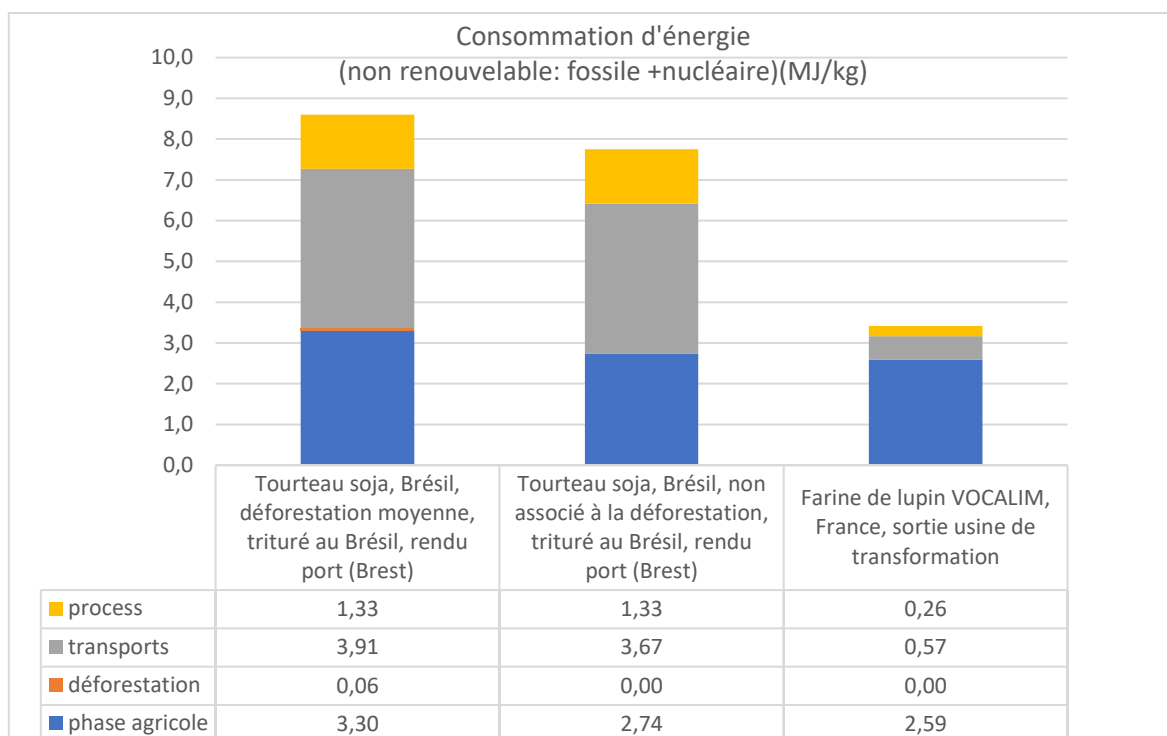
Consommation de phosphore

La consommation de la ressource phosphore est moins élevée pour la farine de lupin que pour les tourteaux de soja (déforestation moyenne ou non associé à la déforestation). Ceci s'explique par les données d'intrants en engrais phosphatés considérés sur les cultures (95% par la consommation d'engrais phosphaté sur la culture, et 5% par la consommation d'engrais phosphaté pour la production de semences) et les rendements des cultures de lupin et soja dans les différents contextes.



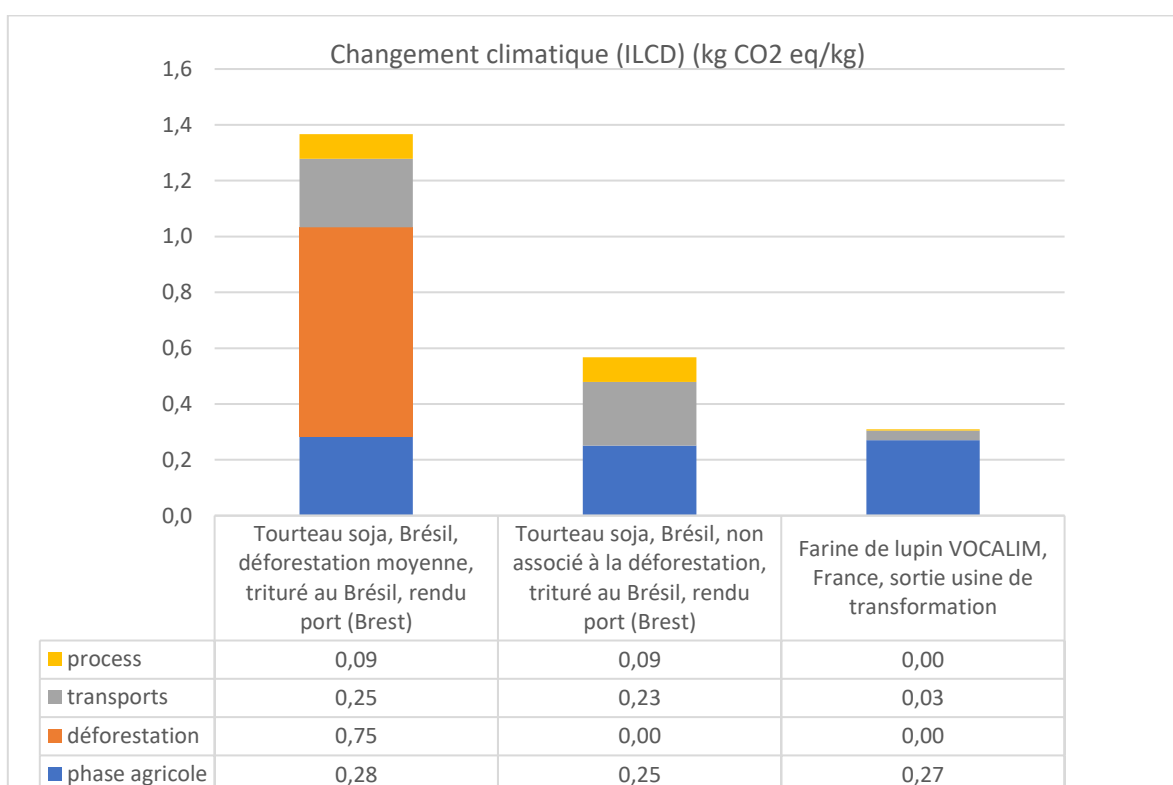
Consommation d'énergie

La consommation d'énergie non renouvelable est moins élevée pour la farine de lupin que pour les tourteaux de soja (déforestation moyenne ou non associé à la déforestation). La différence s'explique principalement par la plus forte consommation d'énergie lors du transport pour le soja. La consommation d'énergie sur le lupin provient à 58% des opérations mécaniques sur la culture et à 17% des transports (entre champ et OS, en OS et usine). En revanche, pour le soja, seulement 35-38% de la consommation d'énergie provient de l'amont agricole (fabrication d'engrais, opérations mécaniques) et 45-47% est lié au transport.



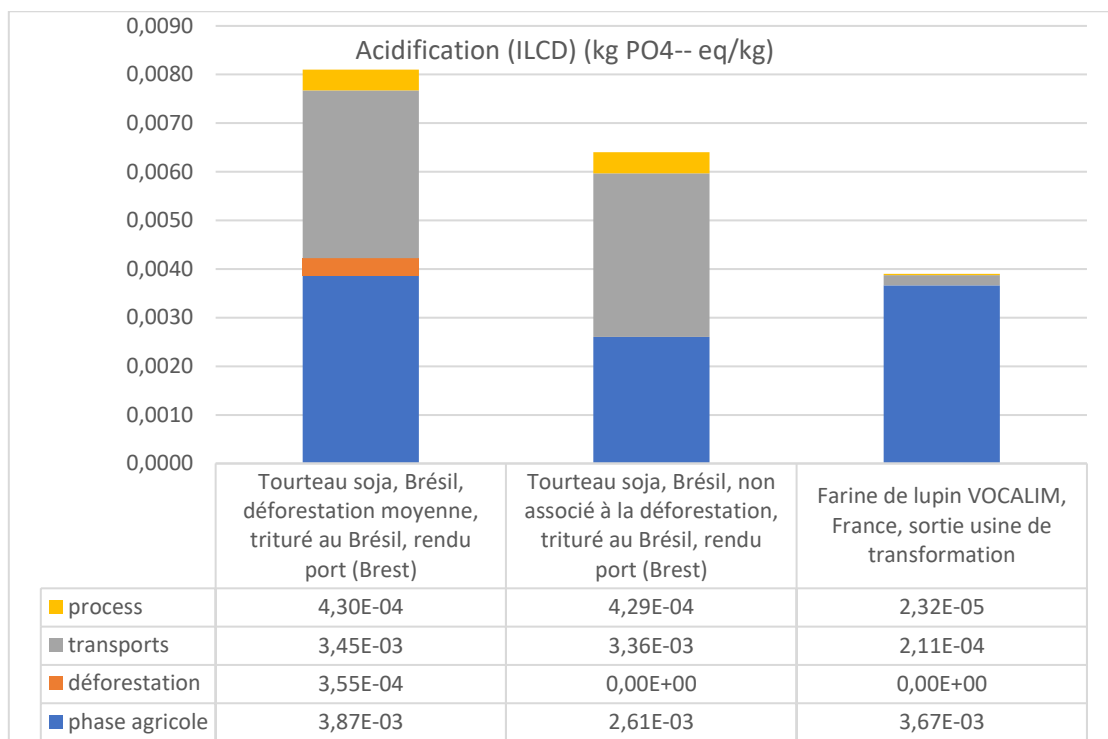
Changement climatique

L'impact changement climatique exprimé en kg CO₂ eq/kg est moins élevé pour la farine de lupin que pour les tourteaux de soja (déforestation moyenne ou non associé à la déforestation). Cet écart est réduit dans le cas du tourteau de soja non associé à la déforestation. L'impact de l'amont agricole sur le changement climatique est sensiblement le même pour les 3 inventaires (lié à l'émission de N₂O au champ essentiellement), les différences étant expliquées par l'impact du transport pour le soja venant du Brésil, et par la déforestation pour le soja moyen Brésil.



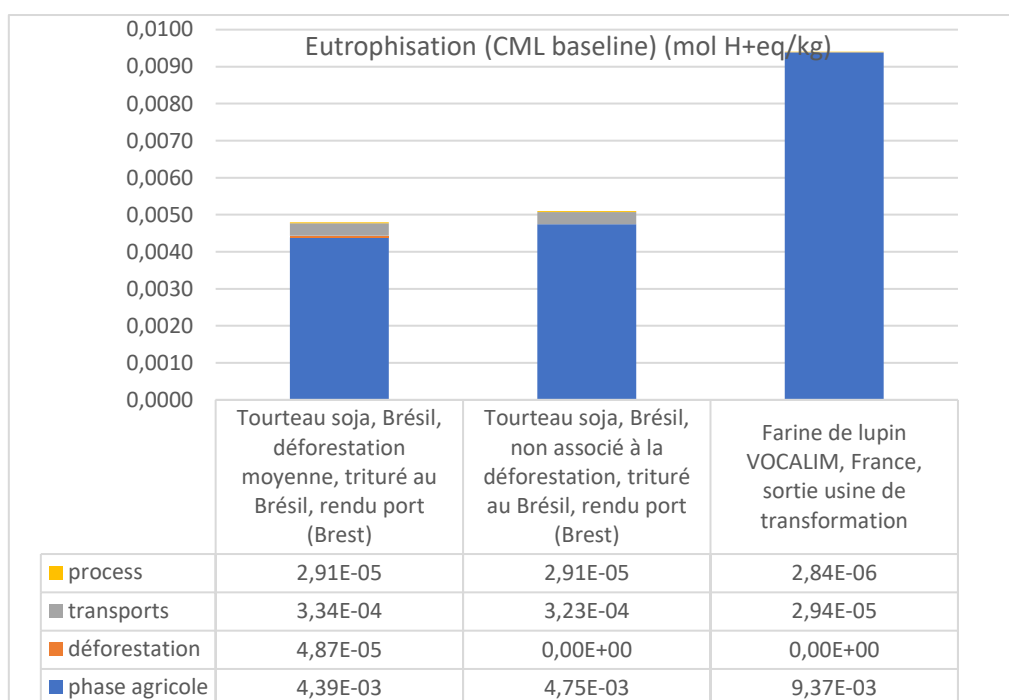
Acidification

L'impact acidification exprimé en $\text{kg PO}_4^{3-}\text{eq/kg}$ de la farine de lupin est inférieur à celui des tourteaux de soja (déforestation moyenne ou non associé à la déforestation). Ceci s'explique par les transports qui contribuent grandement à cet impact pour les tourteaux de soja brésiliens.



Eutrophisation

L'impact de la farine de lupin sur l'eutrophisation (exprimé en $\text{mol H}^+\text{eq/kg}$) est plus élevé que celui des tourteaux de soja. Cet impact est expliqué principalement par les émissions de nitrates et de phosphore dans les eaux de surface et souterraines et correspond donc à la phase agricole de la production de farine de lupin. Les modèles d'émission considérés donnent des émissions par hectare nettement plus importantes pour le lupin en France, par rapport aux sojas brésiliens, notamment du fait d'une durée d'occupation des sols plus importante pour le lupin.



Occupation du sol

L'impact Occupation des sols (en m² an/kg) est plus élevé pour la farine de lupin que pour les tourteaux de soja. Ceci s'explique par le fait que les surfaces cultivées au Brésil font 2 cultures par an.

Scénarios d'utilisation de la farine de lupin Vocalim

Potentiels d'utilisation

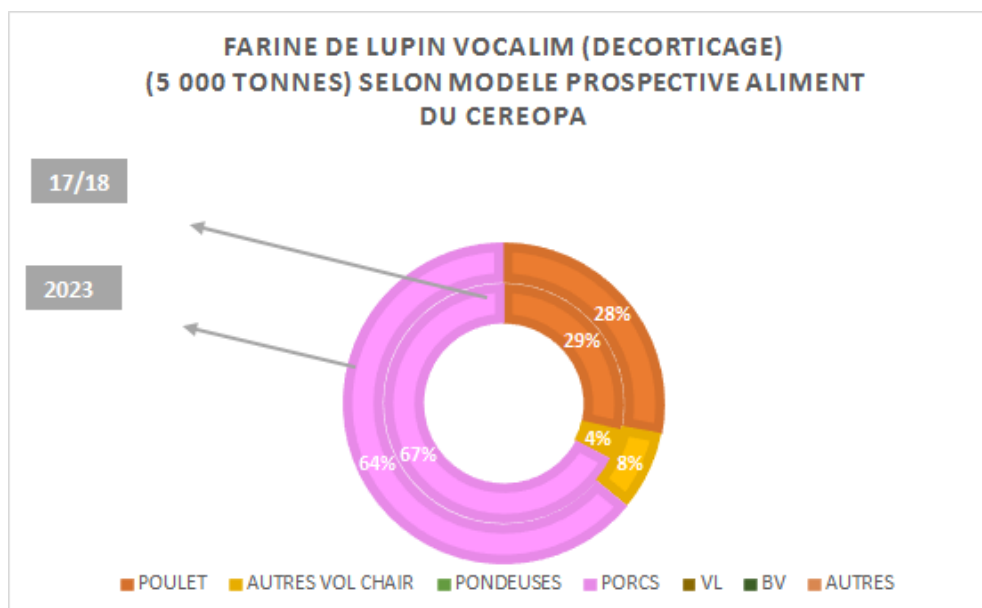
Préambule

En ce qui concerne la farine de lupin VOCALIM (décortiqué), deux scénarios ont été étudiés avec l'outil Prospective Aliment (P.A)¹ du CEREOPA dans le cadre du programme VOCALIM : scénario 2017 (état des lieux) vs scénario à l'horizon 2023. Les hypothèses retenues prennent en compte une demande en produits finis et en aliments évolutive (poulet de chair mais aussi autres espèces animales). Ainsi par exemple, les productions de poulet de chair sous cahier des charges non OGM (hors bio) progressent de 21 à 38% entre les deux périodes et la part de l'aliment non OGM (hors bio) pour répondre à cette demande progresse de 28% à 48%. Notons que les aliments poulets label dans le modèle P.A, qui étaient à 56% non OGM en 2017, passent à 100% non OGM en 2023.

Le contexte de prix des MP est celui de la campagne 17/18 (benchmark) et correspond à la moyenne des prix 2007-2017 pour le scénario 2023 afin de s'extraire de la volatilité et prendre en compte les cotations un peu plus élevées. Des ajustements ont cependant été réalisés pour tenir compte d'une demande en non OGM en hausse (ratio tourteaux et prime non OGM à 90 €/t).

¹ Le modèle P.A prend en compte l'ensemble des aliments du commerce destinés aux animaux de rente, permettant de suivre la compétition inter-filières pour la captation des matières premières.

Afin de tester des hypothèses réalistes, les volumes proposés dans le modèle P.A ont été calculés selon les disponibilités en cours et à venir pour les animaux de rente du modèle P.A. En partant d'une hypothèse où la sole française de lupin resterait stable d'ici 2023, et les animaux de rente non prioritaires dans les débouchés, les tonnages disponibles n'excèdent pas 5000 tonnes sur les 14 000 t produites, soit une goutte d'eau face au 19 Mt du modèle. Ce faible volume explique en grande partie les résultats obtenus.



Source : Modèle P.A (Céréopa, <http://www.cereopa.fr/outils-et-actions/prospective-aliment/>)

La farine de lupin VOCALIM est majoritairement destinée aux aliments porcs en 2017 et 2023 (respectivement 67% et 63%). La filière poulet de chair représente le deuxième débouché, avec moins de 30% de parts de marché dans les deux scénarios. Cette part reste relativement stable sur les deux périodes étudiées.

Tous les aliments intégrant la farine de lupin testée sont sous cahiers des charges non OGM, aussi bien en 2017 que 2023. Dans ce dernier scénario prospectif, les aliments poulets concernés sont des non OGM 100% origine France (une segmentation qui n'existe pas en 17/18).

La farine de lupin VOCALIM voit son utilisation concentrée aux deux tiers en Bretagne et pour le tiers restant en Pays de Loire.

Prix d'intérêt

Le prix d'intérêt de la farine de lupin Vocalim concerne la totalité du modèle (toutes filières animales). Que ce soit sur le scénario de départ (2017/18) ou prospectif (2023), la valorisation dépasse celle du tourteau de soja non OGM d'importation, soit un ratio de respectivement 214% et 207% sur les scénarios 2017 et 2023. Ce prix est en partie lié à la faible disponibilité de la matière première, utilisée en premier lieu dans des formules très rémunératrices. Ce qui est rare étant cher, une hausse des disponibilités ferait baisser ce prix d'intérêt.

Impact durabilité

Autonomie protéique

Dans cette étude, la farine de lupin Vocalim, à cause du faible volume disponible, ne représente pas un levier d'amélioration de l'autonomie protéique des FAB ou même uniquement de la filière poulet de chair en 2017 et 2023.

Impact environnemental

La farine de lupin n'ayant pas été retenue dans la phase 2 de l'étude, cet aspect n'a pas été investigué.

Ce qu'il faut retenir

- Quel que soit le scénario, la farine de lupin définie dans VOCALIM ne serait utilisée qu'à moins de 30% dans les aliments volailles.
- Le prix d'intérêt de la farine de lupin serait élevé (2 fois plus élevé que le tourteau de soja) car elle entrerait dans des formules très rémunératrices.
- Elle n'est pas disponible en quantité suffisante pour améliorer l'autonomie protéique française globale, ou celle de la filière poulet de chair dans laquelle elle trouve un débouché.

- Andrzejewska, A.; Ignaczak, S.; Barzyk, P., 2016. Oil content and fatty acid profile in seeds of Polish breeding lines and cultivars of legumes. *Acta Sci. Pol. Agric.*, 15(2): 3-13
- Arvalis, 2014. Lupin : les points clés de la conduite. Arvalis - Institut du végétal
- Auger, I.; Corre, V., 1990. Lupine flour, method for obtaining same and applications thereof. INPI, N°2660163
- Bekric, B.; Bozovic, I.; Pavloski, Z.; Masic, B., 1990. Lupine, field pea, horse bean and soya-bean in combination with maize as feed for 21 to 52 days old broilers. In: Sauveur, B. (ed), *L'aviculture en Méditerranée, Options Méditerranéennes : Série A, Séminaires Méditerranéens*, 7
- Bhannasiri, T., 1970. Personal communication. Ministry of Agriculture and Cooperative, Bangkok (Thailand)
- Boschin, G.; D'Agostina, A.; Annicchiarico, P.; Arnoldi, A., 2008. Effect of genotype and environment on fatty acid composition of *Lupinus albus* L. seed. *Food Chem.*, 108 (2): 600-606
- Brenes, A.; Marquardt, R. R.; Guenter, W.; Rotter, B. A., 1993. Effect of enzyme supplementation on the nutritional value of raw, autoclaved, and dehulled lupins (*Lupinus albus*) in chicken diets. *Poult. Sci.*, 72 (12): 2281-2293
- Brenes, A.; Slominsky, B. A.; Marquardt, R.; Guenter, W.; Viveros, A., 1998. Effect of enzyme addition on the digestibilities of cell wall polysaccharides and oligosaccharides from whole, dehulled and ethanol-extracted white lupins in chickens. *Poultry Science*, 82 (11):1716-1725
- Breytenbach, 2005. The influence of processing of lupins and canola on apparent metabolizable energy and broiler performance. Msc. Thesis, Fac. Agrisciences, Dept. Anim.Sci., Stellenbosch Universiteit
- Buraczewska, L.; Pastuszewska, B.; Smulikowska, S.; Wasilewko, J., 1993. Response of pigs, rats and chickens to dietary level of alkaloids of different lupin species. In *Rec. Adv. in antinutritional factors in legumes*, Proc. 2nd Int. Workshop on ANF in legume seeds, Wageningen, NL: 371-376
- Carrouée, B.; Crépon, K.; Peyronnet, C., 2003. Les protéagineux : intérêt dans les systèmes de production fourragers français et européens. *Fourrages*, 174: 163-182
- Castanon, J. I. R.; Perez-Lanzac, J., 1990. Substitution of fixed amounts of soyabean meal for field beans (*Vicia faba*), sweet lupins (*Lupinus albus*), cull peas (*Pisum sativum*) and vetches (*Vicia sativa*) in diets for high performance laying leghorn hens. *Br. Poult. Sci.*, 31 (1): 173-180
- Cheeke, P. R.; Kelly, J. D., 1989. Metabolism, toxicity and nutritional implications of quinolizidine (lupin) alkaloids. In: Huisman, J.; van der Poel, T. F. B.; Liener, I. E. (eds), *Recent advances of research in antinutritional factors in legume seeds. Proceedings of the First International Workshop on "Antinutritional factors (ANF) in Legume Seeds"*
- Cherrière, K.; Albar, J.; Noblet, J.; Skiba, F.; Granier, R.; Peyronnet, C., 2003. Utilisation du lupin bleu (*Lupinus angustifolius*) et du lupin blanc (*Lupinus albus*) par les porcelets en post-sevrage. *Journées Rech. Porc.*, 35: 97-104
- Cilliers, S. C.; Sales, J.; Hayes, J. P.; Chwalibog, A.; Du Preez, J. J., 1999. Comparison of metabolisable energy values of different foodstuffs determined in ostriches and poultry. *Br. Poult. Sci.*, 40 (4): 491—494
- Clark, S., 2014. Plant guide for white lupine (*Lupinus albus* L.). USDA-NRCS, Big Flats Plant Materials Center, Corning, New York
- Danel J., Dusart L., Recoules E., Quinsac A., Tormo E., Vilariño M., 2019. Valeur énergétique et digestibilité iléale des protéines et acides aminés de quatorze matières premières riches en protéines chez le poulet de chair. 13èmes Journ. Rech. Avicoles et Palmipèdes à Foie Gras, Tours, 20-21 mars, 484-489.
- Diaz, D. ; Morlacchini, M. ; Masoero, F. ; Moschini, M. ; Fusconi, G. ; Piva, G., 2006. Pea seeds (*Pisum sativum*), faba beans (*Vicia faba* var. *minor*) and lupin seeds (*Lupinus albus* var. *multitalia*) as protein sources in broiler diets: effect of extrusion on growth performance. *Italian J. Anim. Sci.*, 5 (1): 43-53
- DLG, 1961. Futterwerttabellen. Frankfurt am Main, DLG Verlags GmbH
- Duke, J. A., 1981. Handbook of legumes of world economic importance. Plenum Press, New York, USA, 345 p.
- Ecocrop, 2017. Ecocrop database. FAO, Rome, Italy
- El Bassam, N., 2010. Handbook of bioenergy crops: a complete reference to species, development and applications. Earthscan, London, UK
- FAO, 2017. Grassland Index. A searchable catalogue of grass and forage legumes. FAO, Rome, Italy
- Farrell, D. J. ; Perez-Maldonado, R. A. ; Mannion, P. F., 1999. Optimum inclusion of field peas, faba beans, chick peas and sweet lupins in poultry diets. II. Broiler experiments. *Br. Poult. Sci.*, 40 (5): 674-680

- Fontanari, G. G.; Batistuti, J. P.; Cruz, R. J. da; Saldiva, P. H. N.; Arêas, J. A. G., 2012. Cholesterol-lowering effect of whole lupin (*Lupinus albus*) seed and its protein isolate. *Food Chemistry*, 132 (3): 1521-1526
- Fumagalli, P.; Comolli, R.; Ferrè, C.; Ghiani, A.; Gentili, R.; Citterio, S., 2014. The rotation of white lupin (*Lupinus albus* L.) with metal-accumulating plant crops: A strategy to increase the benefits of soil phytoremediation. *J. Environ. Manage.*, 145: 35–42
- Guedes, C. M. ; Dias da Silva, A., 1996. Ruminal dry matter and crude protein degradability of Mediterranean legume seeds. *Ann. Zootech.*, 45 (5): 423-435
- Halvorson, J. C.; Shehata, M. A.; Waibel, P. E., 1983. White lupins and triticale as feedstuffs in diets for turkeys. *Poult. Sci.*, 62: 1038-1044
- Hansen, R. P., 1976. Fatty acid composition of the total lipids from seeds of three cultivars of sweet lupin: *Lupinus albus* cv. 'Neuland' *L. albus* cv. 'WB2', and *L. luteus* cv. 'Weiko III'. *New Zeal. J. Agric. Res.*, 19 (3): 343-345
- Hentschel, W.; Wiche, O, 2016. Exudation of organic acids by *Lupinus albus* and *Lupinus angustifolius* as affected by phosphorus supply. *Geophys. Res. Abstr.*, 18: 16986
- Herold, I.; Szabó, P., 1991. Feeding value of alkaloid free bitter lupins for pigs. *Állattenyésztés és Takarmányozás*, 40 (3): 269-287
- Jang-Ho, S.; Ravindran, V., 2012. Influence of extrusion of white lupins (*Lupinus albus* L.) on the apparent metabolizable energy and ileal nutrient digestibility for broilers. *Int. J. Poult. Sci.*, 11 (9): 565-569
- Jansen, P. C. M., 2006. *Lupinus albus* L. Record from PROTA4U, Brink, M. & Belay, G. (Editors), PROTA (Plant Resources of Tropical Africa/Ressources végétales de l'Afrique tropicale), Wageningen, Netherlands
- Jeroch, H.; Kozłowski, K.; Mikulski, D.; Jamroz, D.; Schöne, F.; Zduńczyk, Z., 2016. Lupines (*Lupinus* spp.) as a protein feedstuff for poultry. 2) Results of poultry feeding trials and recommendations on diet formulation. *Europ. Poult. Sci.*, 80
- Kaczmarek, S. A.; Hejdysz, M.; Kubis, M.; Rutkowski, A., 2016. Influence of graded inclusion of white lupin (*Lupinus albus*) meal on performance, nutrient digestibility and intestinal morphology of broiler chickens. *Br. Poult. Sci.*, 57 (3): 364-374
- Kemira, 2010. Crimping guide. Kemira Oyj ChemSolutions, Feed
- Krawczyk, M.; Przywitowski, M.; Mikulski, D., 2015. Effect of yellow lupine (*L. luteus*) on the egg yolk fatty acid profile, the physicochemical and sensory properties of eggs, and laying hen performance. *Poult. Sci.*, 94 (6): 1360-1367
- Laisse S., Baumont R., Turini T., Dusart L., Gaudré D., Rouillé B., Benoit M., Rosner P-M., Peyraud J-L., 2017. Efficience alimentaire des élevages : un nouveau regard sur la compétition entre alimentation animale et humaine. Colloque du GIS Elevages Demain, 17/10/2017, Paris.
- Lambers, H.; Bishop, J. G.; Hopper, S. D.; Etienne Laliberté E.; Zúñiga-Feest, A., 2012. Phosphorus-mobilization ecosystem engineering: the roles of cluster roots and carboxylate exudation in young P-limited ecosystems. *Ann. Bot.*, 110 (2): 329-348
- Laudadio, V.; Tufarelli, V., 2011. Influence of substituting dietary soybean meal for dehulled-micronized lupin (*Lupinus albus* cv. Multitalia) on early phase laying hens production and egg quality. *Livest. Sci.*, 140 (1-3): 184-188
- Laudadio, V.; Tufarelli, V.; Dario, M.; Cazzato, E.; Di Modugno, G., 2017. Evaluation of dehulled and micronized lupin (*Lupinus albus* L.) and pea (*Pisum sativum* L.) seed meal as an alternative protein source in diets for pre-laying hens. *Proc. 2nd Mediterranean Summit WPSA*
- Likawent Yeheyis; Kijora, C.; Solomon Melaku; Anteneh Girma; Peters, K. J., 2010. White lupin (*Lupinus albus* L.), the neglected multipurpose crop: Its production and utilization in the mixed crop-livestock farming system of Ethiopia. *Livest. Res. Rural Dev.*, 22 (4)
- Lucas, M. M.; Stoddard, F. L.; Annicchiarico, P.; Frías, J.; Martínez-Villaluenga, C.; Sussmann, D.; Duranti, M.; Seger, A.; Zander, P. M.; Pueyo, J. J., 2015. The future of lupin as a protein crop in Europe. *Front Plant Sci.*, 6: 705
- Métivier, T.; Milleville, C.; Guimas, A.; Fréville, G.; Foulon, F, 2013. Le lupin, la graine très riche en protéines qui pousse en Normandie. *Chambre d'Agriculture de Normandie*
- Mierlita, D. P., 2013. Effect of partial substitution of soybean meal with lupine seeds in feeding laying hens on production and economic performance. *Bull. UASVM Anim. Sci. Biotechnol.*, 70 (1): 37-4
- Milleville, C., 2014. Cultiver des cultures associées. *Projet Reine Mathilde, Chambre d'Agriculture de la Manche*
- Moschini, M. ; Masoero, F. ; Prandini, A. ; Fusconi, G. ; Morlacchini, M. ; Piva, G., 2005. Raw Pea (*Pisum sativum*), raw Faba bean (*Vicia faba* var. *minor*) and raw Lupin (*Lupinus albus* var. *multitalia*) as alternative protein sources in broiler diets. *Ital. J. Anim. Sci.* 4:59-70

- Mossé, J. ; Huet, J. C. ; Baudet, J., 1987. Relationships between nitrogen, amino acids and storage proteins in *Lupinus albus* seeds. *Phytochem.*, 26 (9): 2453-2458
- Musco, N. ; Cutrignelli, M. I. ; Calabrò, S. ; Tudisco, R. ; Infascelli, F. ; Grazioli, R. ; Lo Presti, V. ; Gresta, F. ; Chiofalo, B., 2017. Comparison of nutritional and antinutritional traits among different species (*Lupinus albus* L., *Lupinus luteus* L., *Lupinus angustifolius* L.) and varieties of lupin seeds. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.*, 101 (6): 1227-1241
- Nalle, C. L.; Ravindran, G.; 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 (7): 1227-1231
- Nalle, C. L.; Ravindran, V.; Ravindran, G., 2012. Nutritional value of white lupins (*Lupinus albus*) for broilers: apparent metabolisable energy, apparent ileal amino acid digestibility and production performance. *Animal*, 6 (4): 579-585
- Nalle, C. L., 2009. Nutritional evaluation of grain legumes for poultry. PhD Thesis, Massey University, Palmerston North, New Zealand
- Nwokolo, E. ; Smartt, J., 1997. Food and feed from legumes and oilseeds. Springer, 419 p.
- OGTR, 2013. The biology of *Lupinus* L. (lupin or lupine). Aust. Gov., Dep. Health and Ageing, Office of the Gene Technology Regulator
- Olver, M. D., 1987. Sweet lupins as a feedstuff for broilers. *South Afr. J. Anim. Sci.*, 17 (4): 168-170
- Olver, M. D., 1997. Effect of sweet lupins on duckling growth. *Br. Poult. Sci.*, 38 (1): 115-117
- Ørskov, E. R. ; Nakashima, Y. ; Abreu, J. M. F. ; Kibon, A. ; Tuah, A. K., 1992. Data on DM degradability of feedstuffs. Studies at and in association with the Rowett Research Organization, Bucksburn, Aberdeen, UK. Personal Communication
- P.A Prospective Aliment : stratégies d'alimentation des cheptels français et européens, Céréopa, Paris, France, <http://www.cereopa.fr/outils-et-actions/prospective-aliment/>,
- Perez-Escamilla, R.; Vohra, P, 1987. Lupins (*Lupinus albus* var. Ultra) replace a part of soybean meal in diets for growing chickens. *Proc. RAAN Conf.*
- Perez-Maldonado, R. A. ; Mannion, P. F. ; Farrell, D.J., 1999. Optimum inclusion of field peas, faba beans, chick peas and sweet lupins in poultry diets. I. Chemical composition and layer experiments. *Br. Poult. Sci.*, 40 (5): 667-673
- Petterson, D. S., 2000. The use of lupins in feeding systems - Review. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.*, 13 (6): 861-882
- PGRO, 2014. PGRO Pulse agronomy guide. Processors and Growers Research Organisation
- Pilegaard, K.; Gry, J., 2008. Alkaloids in edible lupin seeds - A toxicological review and recommendations. Nordic Council of Ministers, Copenhagen 2008
- Prinsloo, J. J.; Smith, G. A.; Rode, W., 1992. Sweet white *Lupinus albus* (cv buttercup) as a feedstuff for layers. *Br. Poult. Sci.*, 33 (3): 525-530
- Ramos-Morales, E. ; Sanz-Sampelayo, M. R. ; Molina-Alcaide, E., 2010. Nutritive evaluation of legume seeds for ruminant feeding. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.*, 94 (1): 55-64
- Ravindran, G.; Ravindran, V.; Bryden, W. L., 2006. Total and ileal digestible tryptophan contents of feedstuffs for broiler chickens. *J. Sci. Food Agric.*, 86 (7): 1132-1137
- Roth-Maier, D. A.; Kirchgeßner, M., 1994. White lupins (*Lupinus albus* L.) and enzyme supplements for layers. *Arch. Geflügelk.*, 59 (3): 186-189
- Roth-Maier, D. A.; Kirchgeßner, M., 1994. White lupins (*Lupinus albus*, L.) as a replacement for soybean meal in diets for fattening chicken. *Archiv für Geflügelk.*, 58 (3): 111-114
- Rybinski, W. ; Swiecicki, W. ; Bocianowski, J. ; Börner, A. ; Starzycka-Korbas, E. ; Starzycki, M., 2018. Variability of fat content and fatty acids profiles in seeds of a Polish white lupin (*Lupinus albus* L.) collection. *Gen. Res. Crop Evol.*, 65 (2): 417-431
- Saini, H. S., 1989. Legume seed oligosaccharides. In: Van Der Poel T. F. B., Huisman J., Lienr I. E. (Eds), *Recent Advances of Research in Antinutritional Factors in Legume Seeds*. Pudoc, Wageningen, pp. 329-341
- Singh, C. K.; Robinson, P. H.; McNiven, M. A., 1995. Evaluation of raw and roasted lupin seeds as protein supplements for lactating cows. *Anim. Feed Sci. Technol.* 52 (1): 73-76
- Son JangHo; Ravindran, V., 2012. Influence of extrusion of white lupins (*Lupinus albus* L.) on the apparent metabolizable energy and ileal nutrient digestibility for broilers. *Int. J. Poult. Sci.*, 11 (9): 565-569
- Soya UK, 2017. Lupins. Soya UK Ltd, <http://www.soya-uk.com/>
- Sujak, A.; Kotlarz, A.; Strobel, W., 2006. Compositional and nutritional evaluation of several lupin seeds. *Food Chem.*, 98 (4): 711-719
- Terres Inovia, 2019. Le guide lupin blanc doux conventionnel et Bio 2019. Terres Inovia.

- Terres Univia, 2017. Lupin blanc. Les espèces cultivées, Terres Univia website
- Terres Univia, 2018. Chiffres clés Oléagineux et plantes riches en protéines 2017.
- Tibbetts, S. M. ; Milley, J. E. ; Lall, S. P., 2006. Apparent protein and energy digestibility of common and alternative feed ingredients by Atlantic cod, *Gadus morhua* (Linnaeus, 1758). *Aquaculture*, 261 (4): 1314-1327
- Tufarelli, V.; Demauro, R.; V. Laudadio, V., 2015. Dietary micronized-dehulled white lupin (*Lupinus albus* L.) in meat-type guinea fowls and its influence on growth performance, carcass traits and meat lipid profile. *Poult. Sci.*, 94 (10): 2488-2494
- Uzu, G., 1983. Utilization of white sweet lupin (*Lupinus albus* L.) in broiler diets. *Proc. 4th Europ. Symposium Poult. Nutr.*,
- van Barneveld, R. J., 1999. Understanding the nutritional chemistry of lupin (*Lupinus* spp.) seed to improve livestock production efficiency. *Nutr. Res. Rev.*, 12: 203-230
- Van Etten, C. H. ; Miller, R. W. ; Wolff, I. A. ; Jones, Q., 1961. Nutrients in seed meals, amino acid composition of twenty-seven selected seed meals. *J. Agric. Food Chem.*, 9: 79-82
- Watkins, B. A.; Mirosh, L. W., 1987. White lupin as a protein source for layers. *Poult. Sci.*, 66 (11): 1798-1806
- Watkins, B. A.; Manning, B.; Al-Athari, A. K., 1988. The effects of *Lupinus albus* cultivar Ultra on broiler performance. *Nutr. Rep. Int.*, 38 (1): 173-181
- Wiryawan, K. G. ; Dingle, J. G. ; Kumar, A. ; Gaughan, J. B. ; Young, B. A., 1995. True metabolisable energy content of grain legumes : effects of enzyme supplementation. In: Rowe, J.B., Nolan, J.V. (Eds.), *Recent Advances in Animal Nutrition in Australia*. University of New England, Armidale. p. 196
- Wiryawan, K. G., 1997. New vegetable protein for layers. Final report for project UQ-21E, Department of Animal Production, University of Queensland
- Wolko, B.; Clements, J. C.; Naganowska, B.; Nelson, M. N.; Yang, H., 2010. *Lupinus*. In: Kole C. (eds), *Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resources*, Springer, Berlin, Heidelberg
- Zdunczyk, Z.; Juśkiewicz, J.; Flis, M., 1996. Effect of dehulling white lupin (*Lupinus albus*) on protein utilization by rats. *J. Anim. Feed Sci.*, 5: 281-288