

PRODIVAL® : une solution nouvelle et innovante pour développer l'usage des graines protéagineuses dans les filières d'élevages afin de répondre aux défis sociétaux de notre Agriculture

Chesneau G.¹, Juin H.²

¹ Valorex, F-35210 Combourville

² INRA EASM, F-17700 Surgères

Correspondance: g.chesneau@valorex.com

Résumé

Le programme de recherche PROLEVAL, financé par la Banque Publique d'Investissement dans le cadre des Investissements d'Avenir, vise à apporter des réponses pérennes aux défis soulevés tant par la filière agricole française, en recherche de solutions innovantes, que par les consommateurs, en quête de réassurance et de traçabilité. PRODIVAL®, la marque portant ces innovations produits, repose sur un savoir-faire combinant deux leviers d'actions : (i) végétal pour optimiser le potentiel nutritionnel intrinsèque des graines (féverole, lupin, pois), (ii) technologique pour en libérer le potentiel nutritionnel. Pour les animaux monogastriques ces leviers combinés améliorent la digestibilité de la protéine (8-12%) et de l'énergie (25-32%) et pour les ruminants augmente, la protection ruminale de la protéine (20-30pts). La solution PRODIVAL® consiste en de nouvelles sources de protéines végétales d'origine locale, aux performances améliorées, à destination des animaux d'élevage, pour permettre à l'agriculture française d'aller vers une autonomie protéique durable et rentable, grâce à des résultats technico-économiques performants en élevage d'une part, et à une montée en gamme et en valeur des produits des exploitations agricoles d'autre part.

Mots-clés: Autonomie protéique, Durabilité, Montée en gamme, Graines protéagineuses, Procédés technologiques, Nutrition animale.

Abstract: PRODIVAL®: a new and innovative solution to develop the use of pulses in livestock production to meet the societal challenges of our agriculture

The PROLEVAL research program, financed by the *Banque Publique d'Investissement* as part of the *Investissements d'Avenir*, aims to solve the problems concerning both agricultural sector looking for innovative solutions; and consumers, in search of reinsurance and traceability. PRODIVAL®, the brand carrying these innovates product, is based on a know-how combining two steps: (i) plant's lever to optimize the natural nutritional potential of seeds (faba bean, lupine, pea), (ii) technological's lever to release the nutritional potential. These combined levers improve digestibility for monogastric proteins (8-12%) and energy (25-32%) and increase for ruminants, the rumen protection of the protein (20-30 points). The PRODIVAL® solution consists of new sources of locally sourced pulses' protein, with improved performance, for livestock, to enable French agriculture to move towards a sustainable and profitable protein autonomy, thanks to technico-economic results in breeding on the one hand, and an increase in range and value of the products of their exploitation on the other hand

Keywords: Protein autonomy, Durability, Upmarket, Pulses, Technological processes, Animal nutrition.

1. Contexte et objectifs

Avant leur interdiction en 1997 les farines animales contribuaient significativement aux apports protéiques pour la nutrition animale. Grâce à sa forte teneur en protéines, le tourteau de soja s'est alors rapidement imposé pour assurer les performances des animaux d'élevage. Aujourd'hui, les tourteaux de soja utilisés en France sont majoritairement importés et OGM, et leur traçabilité est remise en question (Gourdouvelis et al., 2012 ; Bouvarel et al., 2014). De plus, la volatilité des cours n'est pas sans impacter le revenu des éleveurs. L'indépendance protéique apparaît donc comme un enjeu majeur pour réduire le recours à l'importation du tourteau de soja.

En parallèle, de nouvelles attentes sociétales et de nombreux défis émergent en France et en Europe : alimentation durable ; origine locale ; production sans OGM ; préservation de l'environnement. Le recours au soja en productions animales est menacé par le risque d'une nouvelle crise sociétale (Delanoue et al., 2015).

Enfin, un défi agronomique important consiste à insérer des nouvelles têtes d'assolement pour allonger les rotations, à améliorer la structure et la santé du sol, à réduire l'usage de produits phytosanitaires, tout en assurant un revenu à l'agriculteur.

Face à ces défis à relever, VALOREX a entrepris de relancer les cultures de légumineuses à graines (féverole, lupin, pois) au moyen du programme de recherche PROLEVAL soutenu par la Banque Publique d'Investissement, dans le cadre des Investissements d'Avenir.

La finalité de ce programme vise à apporter des réponses pérennes aux défis soulevés tant par la filière agricole française, en recherche de solutions innovantes que par les consommateurs, en quête de réassurance et de traçabilité de leur alimentation.

Après 3 années de recherche collaborative avec l'INRA, Ce programme de recherche propose ses premières solutions nutritionnelles à destination des filières d'élevages. PRODIVAL®, la marque portant ces innovations, repose sur un savoir-faire combinant au moins deux leviers d'actions : **végétal et technologique**.

1.1 PRODIVAL® : une solution nouvelle et innovante

1.1.1 Levier végétal pour optimiser le potentiel nutritionnel des graines

VALOREX organise la filière de production de graines protéagineuses au travers d'échanges structurels et organisationnels entre sélectionneurs, producteurs et utilisateurs autour d'objectifs communs (comportement agronomique, aptitude aux procédés de traitement, qualité des graines...) et d'économie circulaire (perspectives économiques, modèle économique...);

VALOREX participe à la définition des critères de sélection des variétés : teneur élevée en nutriments d'intérêts (protéines, amidon...) et faible en facteurs antinutritionnels (vicine - convicine,...) ; caractéristiques physiques (taille, poids de mille grains...) et d'aptitude technologique.

VALOREX contractualise ses approvisionnements en graines : engagement en volume et en prix, et dans la durée, avec les organismes stockeurs et négociants qui eux-mêmes reportent ces engagements avec les agriculteurs. Incitation à la qualité et stockage différencié des lots de graines en fonction de leur potentiel.

1.1.2 Levier technologique pour libérer le potentiel nutritionnel des graines

Technologies industrielles adaptées : Mise au point de techniques de cuisson adaptés et spécifiques aux usages de ces graines par les différentes espèces animales, sur la base de propriétés mécaniques, thermomécaniques, et enzymatiques ;

Technologies de rupture avec l'existant : Mise au point de procédés innovants combinant des procédés mécaniques, thermomécaniques, fermentaires et enzymatiques afin d'optimiser davantage la valeur nutritionnelle des graines.

Ainsi, cet article fait état des avancées à mi-parcours du projet collaboratif piloté par l'entreprise VALOREX et mené conjointement avec les unités expérimentales de l'INRA. Les leviers végétaux et technologiques activés combinés au sein des produits Prodival® seront évalués au travers de la réponse animale tant sur l'utilisation digestive (énergie, protéine) que sur leur valorisation technique, économique et environnementale.

2. Matériel et méthodes

2.1 Matières premières innovantes

Les intérêts des matières premières innovantes sont évalués par des mesures *in vivo* chez l'animal cible. Ainsi, ce sont plus de 700 modalités qui ont été évaluées par l'animal tant sur le volet végétal que sur le volet technologique, selon un plan de progression depuis l'échelle laboratoire à l'échelle industrielle en passant par une validation à l'échelle pilote. La synthèse des leviers testés est présentée ci-après dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Synthèse des leviers végétaux et technologiques testés dans le cadre des essais sur animaux

Levier végétal	<p><u>Espèce</u> : féverole, lupin blanc, pois</p> <p><u>Variété</u> : cultivars de printemps, d'hiver</p> <p><u>Combinaison</u> : féverole/lupin/pois soja/lin</p> <p><u>Proportion</u> : 90/10, 70/30, 50/50</p>
Levier technologique	<p><u>Mécanique</u> : broyage, décorticage, triage</p> <p><u>Thermique et thermomécanique</u>: température, durée, humidité, durée, énergie mécanique spécifique, pression, ...</p> <p><u>Enzymatique</u> : endogène, exogène</p>

Ainsi, les travaux du programme de recherche PROLEVAL se sont portés en priorité :

- Au niveau végétal : les graines de féverole, puis de lupin et enfin de pois. Ce choix s'explique par la combinaison de la disponibilité des graines et du potentiel d'amélioration de la digestibilité des nutriments d'intérêt et de l'inactivation des facteurs antinutritionnels ;
- Au niveau animal : les volailles (poulet et pondeuse), les poissons puis les ruminants et enfin les porcs. Ce choix s'explique par la dépendance aux protéines d'importations dans leurs rations respectives ainsi que sur la sensibilité de leur appareil digestif à absorber les nutriments issus des graines protéagineuses ;
- Au niveau des procédés technologiques : Les matières premières innovantes dites de 1^{ère} et 2^{ème} génération. Elles sont issues de procédés optimisés et adaptés aux couples graine / espèce animale (graine entière ou décortiquées, préparation thermo-enzymatique, cuisson avec ou sans pression...) ; Des matières premières innovantes dites de 3^{ème} génération sont quant à elles issues de procédés de rupture (fermentation, complexes enzymatiques ...).

Seuls les résultats des matières premières innovantes dits de 1^{ère} et 2^{ème} génération sont présentés. Ceux concernant les matières premières de 3^{ème} génération sont encore à l'étude, au stade pilote.

2.2 Méthodologies déployées

Ces nombreuses modalités ont été étudiées à travers différentes méthodes d'évaluation par l'animal afin de déterminer les intérêts qualitatifs d'abord (sous la forme de protocole de screening de digestibilité et de plan d'expérience), quantitatifs ensuite (protocole standardisé de digestibilité par espèce) afin d'en déterminer les contours techniques mais aussi parfois économique et environnementaux. Les évaluations menées chez les espèces monogastriques et ruminants sont présentées dans le Tableau 2 et se mènent successivement et par étape afin de ne retenir que les leviers d'intérêt pour l'animal tel que présenté dans la Figure 1.

Tableau 2 : Synthèse des évaluations par l'animal des matières premières innovantes

	Espèce / modèle	Evaluation de l'intérêt de la matière première innovante		
		Qualitative	Quantitative	Technique – économique - environnementale
Monogastrique	Poulet	Screening de digestibilité (n=3 / lot)	Digestibilité (n=10 / lot)	Zootechne (n=48 / lot)
	Pondeuse	-	-	Zootechne (n=44 / lot)
	Truite arc-en-ciel	-	Digestibilité (n=45 / lot)	Zootechne (n=75 / lot)
Ruminants	Vache laitière	Dégradabilité <i>in-vitro</i> et <i>in-sacco</i> (n=15 / lot)		Zootechne (n=8 / lot)

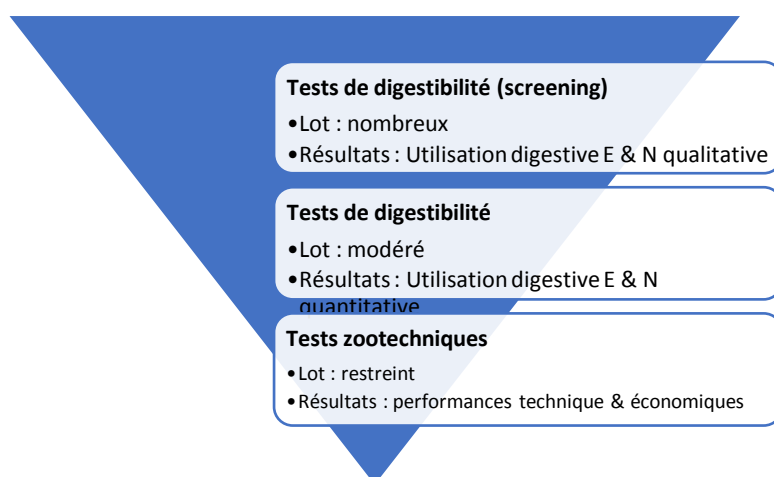


Figure 1 : Principe d'évaluation par l'animal des matières premières innovantes

Dans le cadre des essais monogastriques, les essais de digestibilités poulet et truite sont menés en substitution de l'aliment de base par les matières premières à tester. La valorisation énergétique et la digestibilité de la protéine sont calculées par différence tel que défini pour les différentes espèces (poulet : Carré et al., 2013 ; Truite : Choubert et al., 1982). Les essais zootecniques sont menés sur des lots où les principales sources protéiques étaient, pour le témoin, le tourteau de soja d'importation, et pour les lots expérimentaux les matières premières innovantes dont la valeur nutritionnelle a été préalablement déterminée. Ces mélanges sont incorporés à 20% (poulet), 15% (pondeuse) et 25%

(truite) dans des rations iso-nutritionnelles. Les performances zootechniques ont été relevées, les impacts environnementaux (selon la base de données ECOALIM) de ces produits ont été déterminés.

Dans le cadre des essais ruminants, la dégradabilité de la protéine a été évaluée par des mesures *in vitro* de la dégradabilité enzymatique à 1 heure (dE1) et *in sacco* de la dégradabilité théorique (DT) dans un double carré latin (3 vaches, 6 réplicats) tel que défini par Michalet-Doreau et al. (1987). Quatre dispositifs ont été mis en œuvre pour l'évaluation de la dégradation de la protéine *in vitro* et *in sacco*. Chaque dispositif reposait sur un plan d'expérience réalisé sur une base de 837 sachets de nylon évalués selon 6 points de cinétique, avec 15 aliments expérimentaux et un aliment témoin, regroupés en 3 groupes et testés sur 3 vaches par série de 3. Ainsi, le plan d'expérience présentait 9 répétitions par aliment et par point de cinétique. Les graines de féverole et de lupin ont subi plusieurs modalités de traitement mécanique, thermique et thermomécanique, avec ou sans pression, avec ou sans sucres réducteurs.

Un essai zootechnique a également été mené chez la vache laitière afin d'évaluer l'intérêt des matières premières innovantes sur l'utilisation des protéines dans les conditions expérimentales décrites par Mendowski et al. (2018) lors de cette édition des RFL.

3. Résultats marquants

3.1 Intérêts pour la volaille: poulet de chair et poule pondeuse (Tableau 3 et 4)

Tableau 3 : Intérêt des matières premières innovantes pour la production de poulet

		Témoin tourteau soja	Féverole de référence ¹	Féverole entière traitée	Féverole amande traitée
Intérêt métabolique					
Energie métabolisable	Kcal/kg MS	-	2610	3169	3765
Coefficient d'utilisation digestive azote	%	-	70,0	77,5	81,7
Intérêt zootechnique					
Indice de consommation	-	1,456	-	1,444	-
Intérêt environnemental					
Changement climatique	Kg Co2 eq / t aliment / t carc. PV	1299.0	-	761.5	-
Consommation d'énergie fossile	MJ/ t aliment / t carc. PV	8708.8	-	6829.8	-
Intérêt économique					
Coût alimentaire	€ / 100 kg PV	40.20 €	-	39.45 €	-

¹ Source INRA-CIRAD-AFZ – Feed tables

Par rapport aux valeurs de référence de graines non traitées, le traitement de celles-ci a entraîné une amélioration de l'EMAn (+21%, +44%) et du CUD apparent de la protéine (+10%, +15%) chez le poulet pour les graines entières et les amandes, respectivement. Les essais zootechniques ont confirmé les résultats de digestibilité. Les performances de ponte (poids d'œuf journalier : 61,0g/j versus 62,0g/j) et l'indice de consommation (1,92 versus 1,92) des poules ne sont significativement pas modifiés entre les lots témoin à base de tourteau de soja et essai à base de graines traitées. De la même manière, les performances de croissance du poulet ne sont pas impactées par le traitement alimentaire, et les indices de consommation sont semblables (1,46 versus 1,44 respectivement).

L'impact sur l'environnement de la production de poulet et d'œufs avec une alimentation à base de graines oléo-protéagineuses est, positif sur le changement climatique (-41%, -30%), la consommation de phosphore (-36%, -24%), l'acidification (-18%, -8%) et la consommation d'énergie fossile (-22%, -10%) ; neutre sur l'eutrophisation (-2%, -1%) et négatif sur l'occupation des sols (+13%, +8%), respectivement.

L'impact économique de la production de poulet de chair, évalué au travers de la part liée à l'alimentation qui représente environ les deux tiers des coûts de production, est de 40,20 € et de 39,45 € / 100 kg de poids vif soit une baisse de -1,9 %. Sur la base de la consommation française de poulet qui est de 19,0 kg/an, l'impact est neutre puisqu'il permet d'économiser 0,14 €/an.

L'impact économique de la production d'œuf représente 0,47€/100 œufs, soit un surcoût à l'achat de 0,62€ par an, correspondant à la consommation française annuelle de 100 œufs coquilles.

Tableau 4 : Intérêt des matières premières innovantes pour la production d'œuf

		Témoin tourteau soja	Féverole de référence ¹	Féverole entière traîtée
Intérêt métabolique				
Energie métabolisable	Kcal/kg MS		2680	3319
Coefficient d'utilisation digestive azote	%		73	79
Intérêt zootechnique				
Indice de consommation	-	1,92		1,92
Masse exportée journalière	g / j	61,0		62,0
Intérêt environnemental				
Changement climatique	Kg Co2 eq / t aliment / 100 œufs	9,6		7,4
Consommation d'énergie fossile	MJ/ t aliment / 100 œufs	70,5		64,0
Intérêt économique				
Cout alimentaire	€ / 100 œufs	3,27		3,74

¹ Source INRA-CIRAD-AFZ – Feed tables

Les résultats sont exposés dans la communication de Lessire et al. (2018).

3.2 Intérêts pour le poisson

Sur le volet de l'utilisation métabolique des nutriments, comparativement à la féverole crue, le coefficient d'utilisation digestive (CUD) de l'énergie est significativement supérieur dans le cas d'un traitement technologiquement adapté que cela soit sur une présentation entière ou amande de la graine de féverole : 76,7% (témoin) contre 96,5% et 95,7%, respectivement. Concernant le CUD de l'azote, seul le décorticage préalable de graines de féverole permet une hausse significative de ce dernier (Figure 2).

Sur la réponse zootechnique des truites arc-en-ciel, le poids final des truites n'a pas été significativement affecté par les différents traitements alimentaires. Aucun aliment à base de mélange de graine (FEV) ne différait non plus de l'aliment témoin, en termes de consommation, d'efficacité alimentaire ou encore d'efficacité protéique. Cependant, quand on les compare entre eux, on s'aperçoit que les meilleurs résultats ont été enregistrés avec l'aliment contenant de la féverole dépelliculée et ayant subi le procédé Prodival® : plus faible consommation et meilleure utilisation alimentaire. A l'opposé, les moins bons résultats ont été observés avec la féverole crue. L'analyse statistique de

l'impact des traitements technologiques a confirmé un effet positif du dépelliculage associé au procédé Prodival® sur l'utilisation de l'aliment.

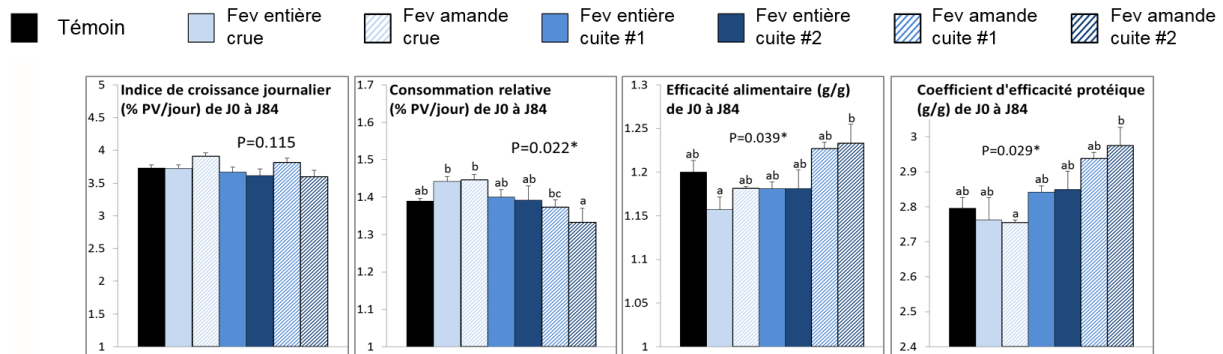


Figure 2 : Intérêts des matières premières innovantes sur l'indice de croissance journalier et la consommation relative des truites ainsi que sur les efficacités alimentaire et protéique.

Les truites ont une efficacité alimentaire supérieure pour le lot « Féverole amande traitée » puisque celle-ci est significativement supérieure au lot « Féverole entière traitée » (1.19 versus 1.11). Le lot témoin présente des valeurs intermédiaires et n'est pas significativement différent. Ainsi, les truites du lot « Féverole entière traitée » n'ont pas une efficacité alimentaire différente des truites du lot témoin.

Il apparaît que, pour la dernière période, le lot « Féverole entière traitée » présente un coefficient d'efficacité protéique identique aux truites du lot témoin. Les truites du lot « Féverole amande traitée » présentent un meilleur coefficient d'efficacité protéique par rapport au lot témoin (2.65) et au lot féverole entière cuite (2.67). Les résultats sont exposés dans les travaux de Burel et al. (2018).

3.3 Intérêts pour les ruminants

Les procédés thermiques ont confirmé leur capacité à réduire significativement la dégradabilité ruminale de la protéine des graines protéagineuses, mais dans des proportions très variables. En comparaison avec les témoins broyés, le traitement thermique sous pression a conduit à la réduction la plus significative de la dégradabilité ruminale de l'azote.

Ces résultats ont confirmé l'intérêt de l'extrusion pour diminuer la dégradation de l'azote dans le rumen et, par conséquent, pour améliorer la valeur protéique des protéagineux, mais ils ont aussi permis de mettre en évidence une forte variabilité selon les paramètres de cuisson mis en œuvre.

En comparaison, le toastage a conduit à des résultats de DT et dE1 significativement moins favorable que la cuisson-extrusion (Tableau 5).

Tableau 5 : Impact du traitement technologique sur le dégradabilité théorique (DT) et sur la digestibilité enzymatique 1h (dE1) des mélanges de féverole-lin ou lupin-lin

	Féverole-lin (90:10)		Lupin-lin (90:10)	
	DT <i>in sacco</i>	dE1	DT <i>in sacco</i>	dE1
Broyage	85,2	78,0	92,3	82,4
Toastage à 90°C	83,1	65,6	92,5	85,8
Toastage à 110°C	76,9	40,3	75,2	58,5
Cuisson-extrusion à 130°C	67,1	30,7	64,4	42,8

Aussi, l'utilisation de sucre réducteur permet de limiter la dégradabilité de l'azote. Là encore, certaines conditions de traitement permettent de mieux faire interagir les sucres et les protéines pour former des composés de Maillard.

Au global, par le choix des meilleurs paramètres de cuisson, en association ou non avec des sucres réducteurs, la solution PRODIVAL® peut permettre d'aller jusqu'à une réduction de l'ordre de 40 à 60 points de la dégradabilité enzymatique à 1h, représentant une baisse de la DT de 20 à 30 points minimum, chez les ruminants.

Cette baisse de DT peut effectivement apparaître comme significativement plus forte encore dans la mesure où ces procédés de cuisson appliqués aux graines protéagineuses augmentent significativement la part de particules fines après broyage. Il a ainsi été démontré que le broyage des graines en prévision d'être insérées dans les sachets nylon pour évaluer la DT entraîne une plus forte proportion de particules fines capables de traverser les mailles du sachet, particules qui seront considérées à tort comme une fraction dégradée de la protéine.

C'est ainsi que la prise en compte des pertes particulières des graines protéagineuses dans les mesures *in sacco* conduirait à une baisse importante de la DT et entraînerait une réévaluation de sa teneur en PDI (protéine digestible dans l'intestin). Cette hypothèse conforte d'ailleurs les résultats obtenus *in vivo* qui sont présentés plus bas.

Les résultats *in vivo* sont partiellement présentés par Mendowski et al. (2018a, 2018b) et de manière complète (Mendowski et al., 2019).

Les résultats d'ingestion et de production font apparaître des niveaux de performances semblables en terme statistique sur la production, entre le lot témoin à base de tourteau de soja et les lots expérimentaux à base de protéagineux. En effet, les variations de valeur PDI (liées à la substitution ou au traitement d'extrusion), sont compensées par des variations de leur efficacité d'utilisation. Les graines avec une extrusion à température modérée sont celles qui conduisent aux résultats les plus proches de ceux obtenus avec le témoin, en terme de production de protéines dans le lait. Ces résultats sur l'efficacité des PDI peuvent être mis en regard avec le profil d'acides aminés plasmatiques des vaches des différents lots. On observe que les vaches ayant ingéré les graines extrudées à forte température présentent des concentrations en 'acides aminés plasmatiques inférieures à leur homologues consommatrices de graines cuites à températures modérées. On note également que les vaches de la ration témoin se situent à peine au niveau de ces dernières, alors que celles des graines crues apparaissent nettement plus faibles.

En conclusion, l'ensemble de cette étude expérimentale a permis de démontrer que la ration témoin à base de tourteau de soja et la ration à base de graines extrudées à température modérée permettaient aux vaches de couvrir leurs besoins pour exprimer leur potentiel tel que défini par l'INRA en 2018. En revanche, les graines crues et extrudées à forte température conduisent à un plus faible rendement protéique, pour des raisons différentes. Les graines crues n'apportent pas suffisamment de PDI alors que les graines extrudées à forte température entraînent une faible efficacité des PDI, probablement en raison d'une complexation irréversible de leurs acides aminés, lesquels ne passent pas la barrière intestinale.

Cette expérimentation *in vivo* a ainsi pu démontrer que dans des conditions de cuisson optimisées, les graines protéagineuses pouvaient remplacer le tourteau de soja dans les rations pour vaches laitières.

Conclusion

La solution PRODIVAL® se caractérise par l'association d'une sélection de graines protéagineuses et d'un traitement thermomécanique spécifique dans le but d'en réduire les facteurs antinutritionnels et d'améliorer la valorisation nutritionnelle par les monogastriques d'une part et par les ruminants d'autre part.

Le caractère innovant réside dans le fait de **combiner plusieurs leviers et technologies, et de les adapter pour rendre l'usage des graines protéagineuses pérenne en nutrition animale grâce à**

des effets additionnels et synergiques. La sélection variétale combinée à des procédés mécaniques, thermiques et enzymatiques est au cœur de cette solution, et qui aboutit à une gamme complète de solutions alimentaires adaptées aux espèces animales.

C'est ainsi que les choix de variétés, de lots de graines produites et de procédés technologiques appliqués aux graines, vont différer selon que le produit est destiné aux volailles, aux poissons... ou aux ruminants, dans le but d'optimiser sa valeur ajoutée.

Ce nouveau savoir-faire technologique associé à un approvisionnement adapté et organisé de graines protéagineuses, font de la solution PRODIVAL une vraie nouveauté en termes de matières premières disponibles et durables pour l'alimentation animale. Les filières de productions animales bénéficient donc d'une nouvelle alternative pour répondre à de nombreuses attentes sociétales.

Références bibliographiques

Burel C., Chesneau G., Guillevic M., Germain A., Terrier F., Sandres F., Lanuque A., Surget A., Larroquet L., Pegourie G., Juin H., 2018. Impact des traitements technologiques sur la valeur nutritionnelle de la graine de féverole pour la truite arc-en-ciel. Rencontre Francophone des Légumineuses 2, 254-255

Carre B., Lessire M., Juin H., 2013: Prediction of metabolisable energy value of broiler diets and water excretion from dietary chemical analyses. Anim. 7, 1246-1258.

Enjalbert F., Eynard P., Nicot M.C., Troegeler-Meynadier A., Bayourthe C., Moncoulon R., 2003. In vitro versus in situ ruminal biohydrogenation of unsaturated fatty acids from a raw or extruded mixture of ground canola seed/canola meal, J. Dairy Sci. 86, 351–359.

Guillevic M., Juin H., Germain A., Chesneau G., Lessire M., 2018. L'introduction de graines oléo-protéagineuses locales dans l'alimentation des poules pondeuses améliore la durabilité des élevages ainsi que la qualité de l'œuf. Rencontre Francophone des Légumineuses, 247-248

Mendowski S., Chapoutot P., Ferlay A., Chesneau G., Enjalbert F., Largeau V., Genestoux L., Nozière P. 2018a. Influence of extruded faba bean-linseed or lupin-linseed blends on nitrogen partitioning in dairy cows. 10èmes International Symposium on the Nutrition of Herbivores, 497-497.

Mendowski S., Chapoutot P., Ferlay A., Chesneau G., Enjalbert F., Germain A., Largeau V., Genestoux L., Rudel S., Nozière P., 2018b. Utilisation digestive des graines protéagineuses traitées et leur valorisation par les vaches laitières. Rencontre Francophone des Légumineuses, 60-61

Mendowski S., Chapoutot P., Chesneau G., Ferlay A., Enjalbert F., Cantalpedra-Hijar G., Germain A., Nozière P., 2019. Effects of replacing soybean meal by extruded faba bean or extruded lupin seeds on nitrogen partitioning in dairy cows, J Dairy Sci, DOI: 10.3168/jds.2018-15416

Michalet-Doreau B., 1992. Aliments concentrés pour ruminants : dégradabilité in situ dans le rumen. INRA Productions animales, 5, 371-377.

Noblet J., Jacquelin-Peyraud Y., Quemeneur B., Chesneau G., 2008. Valeur énergétique de la graine de lin chez le porc : impact de la technologie de cuisson-extrusion. Journées Rech. Porc. 40, 203-208.

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 3.0).



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « Innovations Agronomiques », la date de sa publication, et son URL ou DOI).