

Synthèse bibliographique

Le toastage des graines d'oléo-protéagineux



Photo d'un toasteur mobile présenté au salon Tech & Bio 2017 (PSDR-4 POEETE, 2017)

Travail réalisé dans le cadre du PSDR-4 POEETE
En Rhône-Alpes et Bourgogne – Franche-Comté

Auteur : Amélie MACERA

Avant-propos

Le projet PSDR POEETE (réfléchir la polyculture élevage à l'échelle des exploitations et des territoires) s'inscrit dans une démarche de recherche participative avec des acteurs du territoire de deux régions Bourgogne Franche Comté et Auvergne Rhône Alpes. Les objectifs généraux de ce projet sont d'objectiver les intérêts économiques, environnementaux et sociaux des systèmes de polyculture élevage (PCE) en identifiant les pistes ou modalités permettant d'atteindre des meilleures performances.

L'autonomie alimentaire des exploitations d'élevage est une question centrale aujourd'hui dans un contexte mondial et Européen de volatilité des prix des céréales et concentrés protéiques (comme les tourteaux de soja). A titre d'exemple, les systèmes laitiers français sont relativement dépendants des protéines non produites sur l'exploitation, qui représentent en moyenne 23% de la consommation totale en protéines des troupeaux et 40% du coût alimentaire (Rouillé et al., 2014).

Dans ce contexte, le projet PSDR POEETE s'est penché sur le sujet de l'autonomie alimentaire des exploitations des deux régions d'étude. Afin d'initier le travail, les techniciens et conseillers des structures agricoles partenaires du projet ont été interrogés afin de faire ressortir leurs besoins et les demandes des agriculteurs autour du thème de l'autonomie alimentaire et protéique.

L'autonomie protéique est un objectif qui peut être poursuivi par les agriculteurs en mobilisant différentes stratégies dont certaines ciblent une amélioration de la valeur alimentaire, notamment au niveau protéique pour les fourrages ou pour les compléments concentrés azotés. La production d'oléo-protéagineux peut s'avérer être une démarche intéressante, à différents titres, économique et environnemental, pour améliorer l'autonomie protéique des exploitations d'élevage.

Lors des échanges, les conseillers ont exprimé un intérêt pour la technique du toastage. Ils étaient demandeurs de références sur le toastage de graines de protéagineux et dans une perspective d'évaluer l'intérêt de cette technique.

Cet intérêt pour le toastage se manifeste à la suite de l'émergence de plusieurs démarches locales de groupes d'agriculteurs qui ont investi dans des unités mobiles de toastage et qui semblent obtenir des résultats intéressants (performances zootechniques et valeurs alimentaires).

Ce travail bibliographique a été initié dans ce contexte. Il a pour objectif de synthétiser les références (françaises et internationales) disponibles autour du toastage d'oléo-protéagineux depuis les années 90 et son utilisation dans les rations de monogastriques et de ruminants. Les éléments abordés dans ce document pourraient fournir des éléments de réflexion pour la mise en place d'essais expérimentaux étudiant le toastage.



Table des matières

Le toastage.....	4
1. Pourquoi toaster ?	4
2. Toastage versus extrusion (GABB32, 2015).....	5
3. Dans quels cas utiliser le toastage ?	5
4. Les retours d'expériences en France sur le toastage.....	6
a. Comparaison entre différentes démarches collectives ou individuels.....	6
b. L'expérience des éleveurs des chambres d'agriculture de l'Orne et Calvados (C.A Normandie, 2016).....	7
c. Grapea Civam vendéen (Grapea-civam 85, no date).....	9
d. Cuma Gers (CUMA Gers, 2015).....	9
e. Protéathermic : prestataire de service.....	10
5. Quelles valeurs nutritionnelles pour les graines toastées	10
6. Quelles perspectives pour le toastage en France ?.....	12
Synthèse bibliographique d'articles scientifiques.....	13
7. Le soja : une source de protéine privilégiée.....	13
f. En France	13
g. A l'international.....	15
8. Les protéagineux, un regain d'intérêt	19
Bibliographie.....	24

Liste des abréviations :

A.A : acides aminés
CNCPS : Cornell Net Carbohydrate and Protein System
ECM : energy corrected milk
FAN : facteur anti nutritionnel
FAT : facteur anti trypsiques
FCM : fat corrected milk
GMQ : gain moyen quotidien
MG : matière grasse
MS : matière sèche
NDF : neutral detergent fiber
NRC : nutrient requirement of dairy cattles
PDIA : protéines digestibles dans l'intestin provenant des protéines alimentaires non dégradées dans le rumen
PDIE : protéines digestibles dans l'intestin permises par l'énergie apportée par l'aliment
PDIN : protéines digestibles dans l'intestin permises par l'azote apporté par l'aliment
PH : prim'Holstein
RUP : rumen undegradable protein
UFL : unité fourragère lait
VLHP : vache laitière à haut potentiel

Liste des tableaux et figures

Tableau 1: valeurs nutritionnelles des graines crues et toastées (GRAPEA Civam Vendée).....	9
Tableau 2: résultats Cuma Gers (source Poudevigne, 2015).....	9
Tableau 3: Comparaison des valeurs entre graine crue et graine traitée.....	11
Tableau 4: synthèse bibliographique des valeurs nutritionnelles et des performances laitières apportées par le toastage du soja.....	23
Figure 1: photo d'un toasteur (PSDR-4 POEETE, 2017).....	4
Figure 2: schéma fonctionnement digestion ruminant (Cuvelier et al).....	4
Figure 3: tableau d'observations des 13 exploitations (d'après la CA Normandie)	8
Figure 4: exemple de budget partiel extrait du CA Normandie	8

Le toastage



Figure 1: photo d'un toasteur (PSDR-4 POEETE, 2017)

Le toastage, qu'est-ce que c'est ?

Le toastage consiste en le traitement thermique des graines de protéagineux ou oléagineux. L'objectif est d'atteindre 100° C au cœur de la graine. Les graines sont acheminées dans un caisson à fond mouvant perforé par lequel l'air insufflé par un brûleur à fioul atteint 290°C. Les graines ne brûlent pas étant donné que le débit d'air permet de les garder en mouvement. En sortie, les graines sont à 110-120°C et encore un peu humides en surface.

Il est possible d'ajouter d'autres équipements comme une colonne refroidissante ou un pré nettoyeur. En Bretagne, un toasteur a été équipé d'un nettoyeur rotatif permettant le pré nettoyage, la séparation et le triage des céréales et protéagineux. Cela limite les risques d'auto combustion dus aux balles de poussières et permet de travailler avec des mélanges de céréales/protéagineux ou oléagineux. La colonne de refroidissement abaisse la température à 30°C, ce qui permet de stocker le grain directement. Sans cela, il est nécessaire de laisser les graines refroidir soit dans une benne soit sur une dalle de béton. Suivant le gabarit, le toasteur peut être monté sur remorque agricole et transporté par un véhicule léger ou un camion 3 tonnes est nécessaire. Sa taille est un avantage car il est facile de le transporter d'une ferme à l'autre.

1. Pourquoi toaster ?

Pour produire de la viande ou du lait, l'animal a besoin d'acides aminés issus de la dégradation de protéines dans l'intestin grêle. Or, les matières azotées, les protéines et l'azote non protéique comme l'urée, se dégradent plus ou moins rapidement dans le rumen (Cuvelier *et al.*, no date). Une partie des protéines parvient à résister à la dégradation ruminale et passe par la caillette, puis l'intestin grêle où elle sera dégradée en acides aminés. On les appelle protéines « *by pass* ». **Les protéines végétales crues vont être plus facilement digestibles que les protéines chauffées. C'est une des raisons qui a poussé à réfléchir au toastage des grains.**

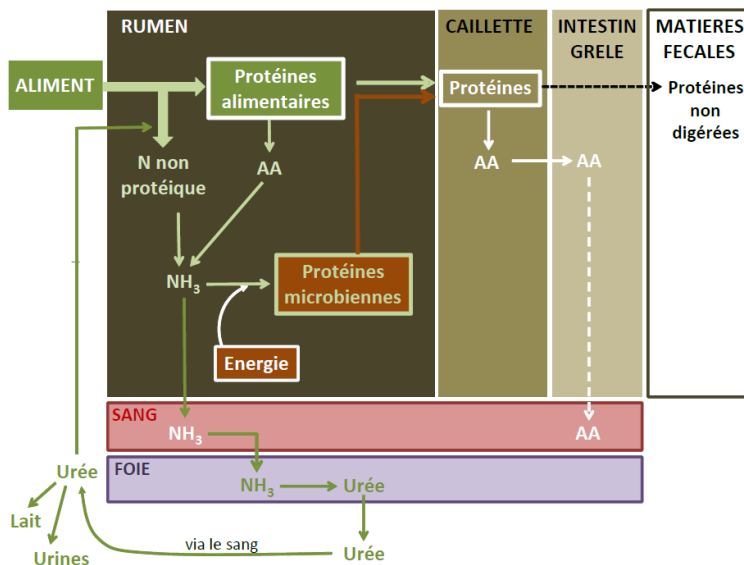


Figure 2: schéma fonctionnement digestion ruminant (Cuvelier *et al*)

Les graines de protéagineux et d'oléagineux présentent des facteurs antinutritionnels que l'on nomme aussi FAN. Les protéagineux tels que la fève contiennent des tanins, facteurs antitrypsiques FAT, lectines etc. Les FAT inhibent les enzymes digestives de l'intestin grêle, pouvant entraîner une hypertrophie du pancréas (Kaysi and Melcion, 1992). Le soja contient de l'urée, en plus des FAT, dans la graine crue qui peut conduire à des intoxications ammoniacales. Les tanins sont enlevés par décorticage tandis que les facteurs antitrypsiques sont **dégradés par chauffage puisqu'ils sont thermolabiles**. Donc, le fait de chauffer élimine la plupart des facteurs antinutritionnels.

Enfin, le toastage permet d'éliminer les bactéries et champignons, donc **améliore la conservation des graines** (on passe de 87% à 95% de MS) (Bargain V, 2016). On peut les stocker entre 3 et 6 mois suivant la variété.



2. Toastage versus extrusion (GABB32, 2015)

Caractéristiques	Toastage	Extrusion
Efficacité énergétique	1.5t/h pour une consommation de 40l fuel/h	300 cv pour un débit de 300kg/h
Praticité	Mobile	Quasi immobile
Produit fini	Non déshuilé	Déshuilé
Teneur en protéine	38-40%	45-46%
Capacité min	Viable sur petites unités	Délicat sur petits volumes
Investissement	80 000 à 120 000 € (+ frais salarié si besoin + fuel 40 litres/tonnes)	15 000 à 30 000 mais beaucoup de frais d'entretien de l'appareil (50 euros de frais d'usage/tonne)
Avantages	Process simple, mobile, peu énergivore	Produit déshuilé
Inconvénients	Beaucoup de manipulation pour apporter, refroidir et stocker la graine. Les oléagineux, par leur teneur en matières grasses, sont limités dans les rations des ruminants	Non mobile, frais de réparation coûteux, énergivore

Parmi les nombreux traitements chimiques ou mécaniques, le toastage semble être le plus simple d'usage (Poncet *et al.*, 2003). **L'inconvénient comparé à l'extrusion est que la matière grasse des oléagineux est conservée et limite donc la quantité de graines toastées distribuées dans la ration (à hauteur de 5% de MS de la ration pour les ruminants)** (Cetiom, 2003). Le toastage permet de protéger les protéines. On peut perdre cet avantage **en broyant finement ou même grossièrement la graine** (Pires, *et al.*, 1996; Poncet *et al.*, 2003). Cela confirmerait certains essais où les graines de lupin, pois et fève grossièrement broyées ou entières remplaceraient un tourteau de soja sans modifier les performances de l'animal (Poncet *et al.*, 2003). Garder les graines quasi intactes permet aussi de protéger les acides gras de l'activité ruminale et potentiellement d'accroître la part d'acides gras dans le lait. Les traitements thermiques sont plus efficaces par voie humide, c'est-à-dire avec l'intervention combinée d'eau et de chaleur (ex : floconnage). Certains exploitants l'ont d'ailleurs essayé dans l'étude de la chambre d'agriculture de Normandie. **Poncet *et al.* (2003) relativisent l'usage des traitements thermiques ou mécaniques.** En effet, ils se demandent s'il ne serait pas plus efficace de garder une graine intacte ou très peu altérée car il n'y a encore jamais eu d'étude sur la valeur azotée en comparaison aux différentes tailles de broyage.

3. Dans quels cas utiliser le toastage ?

Le toastage est recommandé lorsqu'on souhaite remplacer les tourteaux de soja et valoriser ses productions de protéagineux ou oléagineux, notamment dans les filières tracées. **Le toastage peut convenir à plusieurs élevages : porcs, volailles, canards en gavage, tous les ruminants (moutons, chèvres et vaches).**

Dans le cas des ruminants, des études ont montré qu'il fallait mieux assurer une alimentation équilibrée et un bon fonctionnement du rumen avant de vouloir optimiser l'efficacité azotée (Poncet *et al.*, 2003; Beckers, 2013). Les races à viande pourraient tolérer des rations avec un léger manque d'azote fermentescible pouvant recycler l'azote présent dans le sang. En revanche, pour les vaches laitières ayant des exigences plus fortes de production, il n'est pas recommandé de limiter ce paramètre. Il est par contre difficile d'exprimer la valeur maximale admissible sans impacter la santé de l'animale (risque d'alcalose). La recommandation de Beckers (Beckers, 2013) est de favoriser le fonctionnement du mécanisme de recyclage du rumen, autrement dit, de favoriser la synthèse de protéines microbiennes au départ d'azote non protéique pour ne pas limiter la capacité d'ingestion par la suite.

La chambre d'agriculture de Normandie a réalisé une expérience sur un groupe d'éleveurs laitiers et a abouti à certaines conclusions, notamment sur les conditions avant de se lancer dans le toastage (C.A Normandie 2016) :

OUI SI

NON SI

Fourrages de qualité mais déficitaires en PDIE	Correcteur azoté de substitution plus intéressant économiquement
Ration avec suffisamment d'azote soluble	Troupeau en fin de lactation
Besoin d'azote <i>by pass</i>	Ration de base déséquilibrée
Besoin d'assurer la conservation des protéagineux (jusqu'à 6 mois)	
Objectif d'autonomie protéique	



Il semblerait que le toastage des oléagineux soit moins intéressant que le toastage des protéagineux. La cuisson ne modifie pas la teneur en matières grasses des graines. Par conséquent, il faut limiter leur incorporation dans la ration car la matière grasse peut provoquer une diminution de la digestion des fibres alimentaires. Les corps gras seraient toxiques pour les protozoaires et réduiraient la prolifération des micro-organismes du rumen. En revanche, si on donne une graine entière, l'huile n'est pas dégradée dans le rumen mais dans l'intestin.

4. Les retours d'expériences en France sur le toastage

a. Comparaison entre différentes démarches collectives ou individuels.

Des agriculteurs de certaines régions ont déjà commencé à essayer le toastage au travers d'un achat collectif, comme en Occitanie. Puis, d'autres ont eu recours à des prestataires de services.

	<i>Gers</i>	<i>Vendée</i>	<i>Bretagne</i>	<i>Deux sèvres</i>
<i>Achat ou prestation</i>	Achat Cuma départementale Gers	Achat par Cuma Défi85 (GIEE)	Prestation avec Protéathermic	Prestation Entreprise Vg'tal
<i>Date</i>	2015	Fin 2015	Hiver 2016-2017	2016
<i>Où ?</i>	5 départements	Pour l'instant en Vendée	Bretagne, Normandie, pays de Loire	Deux sèvres
<i>Qui ?</i>	Éleveurs de canard, bovins et ovins	Sept éleveurs : 2/3 agriculteurs bio et 2/3 en lait, 1/3 BV		
<i>Quantité engagées</i>	1500 t	250 t	2500 t	1000 t la première année Dont 300-400 t de soja livré par Mitteault, producteur de canard gras.
<i>Fonctionnement</i>	Adhésion CUMA + engagement volume + parts sociales (12 €/part)		Min 20 tonnes / exploitation Relai deux chauffeurs	
<i>Constructeur</i>	Mecmar	Mecmar	Mecmar	Mecmar
<i>Ajout d'équipement</i>	Refroidisseur	Refroidisseur	Station triage	
<i>Capacité</i>	1.5 à 2 tonnes/h	1.5 à 2 tonnes/h	4 tonnes/h	4 tonnes/h
<i>Consommation</i>	40 l fuel/h	40 l/h	80 l de fuel/h	
<i>Tarif</i>	90000€ à l'achat Finalement 50€/t max avec GNR	120000€ à l'achat 0.4 à 0.7€/kg (sans subvention ni frais triage)	200 €/h soit 50€/T	Achat 200 000€
<i>Prix de revient</i>	31€/t avec un volume de 400 t (prix revu à la baisse car 1000 t toastées en 1 an)	71€/t avec volume de 300 t (sans salarié) → 1000t/an, soit 40€/t ou 54€/t avec salarié		
<i>Financement</i>	Cuma + 40% FEADER + CR midi	Cuma + CR + Crowdfunding (20000€) + SIAEP vendéen		
<i>Quels grains</i>	Soja, pois, fèverole, lupin	Pois, fèverole, lupin en mélange avec céréales	Mélange et céréales pures	Graines de protéagineux
<i>Performances laitières</i>		+3l/vache	Variables (issues du CA Normandie 2016) Sur 13 exploitations, 8 ont eu une augmentation de la production de lait avec une baisse des taux (+0.5 à 2.1 L/VL) 3 résultats non exploitables 3 où le volume de lait a baissé avec baisse des taux mais fourrages médiocres	En partenariat avec Idena qui les aide à régler le process pour obtenir des produits réguliers et faire un retour sur les performances laitières et viande.
<i>Remarques</i>	Au début 17 adhérents avec 450 t -> 1000 t en mai 2016 et 1500 t fin mai 60 adhérents en mi 2017 Achat d'un nouveau toasteur	Le toasteur reste 3-4 semaines dans une exploitation Souhait de développer la culture du lupin	En partenariat avec Idena	



b. L'expérience des éleveurs des chambres d'agriculture de l'Orne et Calvados (C.A Normandie, 2016)

Suite à l'achat d'un toasteur avec la Cuma Vendéenne et des bons résultats sur les exploitations, certains éleveurs du Calvados et de l'Orne ont décidé de tester cette technique en passant par un prestataire de service, ProtéaThermic, une entreprise bretonne. 13 agriculteurs ont suivi le même protocole avec l'encadrement de la chambre de l'Orne et du Calvados. Les valeurs nutritionnelles des graines toastées de féverole et lupin ainsi que les facteurs de performances laitières ont été répertoriées et analysées. Les exploitations suivies étaient majoritairement en conventionnel dans le Calvados et en bio dans l'Orne, avec des vaches PH (il y a aussi quelques normandes et jersiaises) entre 5 et 6.5 mois de lactation. Pour les exploitations en conventionnel et en conversion, les rations sont composées d'au moins 50% de maïs ensilage (50-80%) avec des valeurs alimentaires variables (0.89 à 0.95 UFL/kg de MS) et l'herbe enrubannée ou ensilée a aussi des valeurs variables (en moyenne 0.85 UFL, 88 PDIN, 77 PDIE). Pour les élevages en bio, les rations sont composées d'ensilage ou enrubanné d'herbe (prairie, luzerne, trèfle violet) de qualité moyenne. Les rations et résultats laitiers sont présentées dans la Figure 3. La quantité de protéagineux toastés donnée oscillent entre 0.6 kg de lupin et va jusqu'à 4.5 kg de féverole. **Les résultats sur la production laitière sont variables**, certains ont eu des augmentations de la quantité de lait produite mais une baisse de TB, tout en baissant la quantité de concentrés. Pour une majorité, la production laitière des troupeaux a augmenté pour une quantité identique ou plus faible de concentré. Dans le cas d'une hausse de concentré, les résultats ne sont pas toujours améliorés. Dans 3 cas, le volume de lait a baissé, avec une baisse des taux. Sur les 13 exploitants, seulement 7 souhaitent poursuivre.

Au niveau économique, les résultats sont tout autant variables, notamment en fonction du prix des concentrés et du prix du lait. La chambre d'agriculture a réalisé des budgets partiels pour comparer la valorisation des protéagineux toastés par rapport aux protéagineux crus : produits en plus ou en moins (lait, TB, TP, vente éventuelle de la féverole ou du lupin produit), charges en plus ou en moins (coût du toastage, frais d'aplatissage, économie en correcteur azoté...). Les soldes sont positifs dans le cas d'une augmentation de production de lait (+ 200 à +700 €/mois) et négatifs pour les autres cas (-1000€/mois). (Cf figure 4 : exemple de budget partiel)

→ Au final, sur les 13 exploitation, 7 envisagent de poursuivre l'expérience du toastage.

Témoignages d'agriculteurs en Normandie :

*« J'ai fait toaster 22 tonnes de féveroles et 6 tonnes de lupin en entrée d'hiver. Je travaille l'autonomie alimentaire depuis plus de 30 ans. Ma ration à base de luzerne, de maïs coupé haut et des graines de protéagineux, est très riche en azote soluble mais déficiente en énergie et PDIE. Avec le toastage, je souhaitais corriger ce déséquilibre tout en réduisant les quantités de protéagineux distribuées. **J'ai obtenu un peu plus de lait tout en réduisant cette quantité. Pour moi, l'objectif est rempli. S'il reste des points à améliorer sur l'organisation du chantier (moins de temps dans la mise en place du toasteur mobile, stockage à plat et non en cellules pour économiser le travail de reprise), je vais poursuivre l'an prochain** », estime un éleveur laitier Michel Dumont en conversion AB.*

Ce même éleveur a aussi précisé dans un autre article de presse **« La ration est composée de 9 kg de maïs, 5,5 kg de luzerne, 3 kg d'ensilage d'herbe, 3 kg de féverole et 0,5 kg de lupin. Le maïs, j'y tiens. Même en bio, nous avons besoin d'énergie. Notre problème actuel est surtout qu'on a trop de PDIN par rapport au PDIE. Le toastage des protéagineux apporte donc une marge de progression. La cuisson améliore le PDIE des féveroles. Je vais passer de 3 à 2,3 kg. ProtéaThermic facture son service à 50 € par tonne. Ces 700 grammes gagnés par vache paient déjà la prestation de l'entreprise de toastage. J'élimine également les problèmes de toxine et j'assèche les graines. Il reste moins de 10 % d'eau »,** (Motin, 2016).

*« Les féveroles ne m'ont pas permis de valoriser la ration autant que je le souhaitais. J'espérais supprimer l'achat de tourteau de soja en bio en valorisant de la féverole achetée toastée. J'espérais vraiment mieux au vu des témoignages des éleveurs vendéens. **Enfinement, mon bilan est décevant : j'ai eu moins de lait que d'habitude, mais j'étais avec une ration déficiente** (manque d'azote et de sucres solubles et déficit d'énergie). J'ai broyé plus finement pour essayer d'améliorer les performances mais cela n'a pas été concluant. J'ai gardé un peu de féveroles que je vais faire consommer cet été. En fonction des résultats, je verrai si je renouvelle le toastage l'hiver prochain. **J'ai envie de laisser une seconde chance à cette technique que nous venons juste de découvrir** », Gilles Souvre, éleveur laitier en AB.*

La chambre d'agriculture en conclut que le toastage n'est pas miraculeux et les effets se mesurent mieux avec des fourrages de bonne qualité. Si les graines sont broyées trop finement, on perd l'effet *by pass* surtout avec des rations trop fibreuses. Si la ration est trop déséquilibrée en azote soluble ou sucres solubles, il faut d'abord corriger ce déficit avant d'envisager la piste du toastage.



N°	Protéagineux toastés (kg bruts)	Gains/pertes par rapport à la période sans protéagineux toastés				Remarques	
		Quantité totale de concentrés dans la ration	Lait (L)	TB (g/kg)	TP (g/kg)		Autres
1	2,6 kg féverole et 0,3 kg lupin	Baisse (- 0,5 kg)	+ 0,7	- 0,1	+ 0,1	Meilleur poil, reprise d'état	Fiable : pas d'autre changement de ration
2	1,2 kg lupin	Identique	+ 1,2	- 0,9	- 0,3	Graines plus facile à aplatir	Fiable : pas d'autre changement de ration
3	0,6 kg lupin	Hausse (+ 0,5 kg)	+ 1,7	- 0,6	- 0,9		Attention, grippe en novembre, avant toastage, changements de fourrages
4	1,3 kg lupin	Identique	+ 2,1	- 0,2	- 0,7	Bonne reprise d'état	Fiable : pas d'autre changement de ration
5	2,2 à 2,8 kg féverole	Identique	+ 0,1	+ 0,3	- 0,9		Attention, nombreux changements dans la ration avant/après, stade lactation avancé
6	0,6 à 2 kg féverole	Identique	+ 0,5	+ 0,2	+ 0,2	Ration mieux digérée, moins de grains dans les bouses	Attention, nombreux changements dans la ration avant/après
7	0,6 kg féverole	Identique	+ 2,1	- 1,0	- 0,4		Attention, changement total du type de concentrés, passage en aliment fermier, et petite quantité de féveroles toastées
8	0,5 à 1 kg féverole	Identique	+ 1,7	- 3,0	- 1,7	Féveroles trempées	Attention, fourrages médiocres
9	0,5 à 1,5 kg féverole	Hausse (+ 1,4 kg)	- 0,8	- 0,7	- 0,6	Graines de féveroles dans les bouses	Attention, fourrages médiocres, changements dans la ration
10	1,5 kg féverole	Hausse (+ 0,2 kg)	+ 0,8	- 0,7	- 0,6		Attention, changements de fourrages, 1 seul mois d'utilisation
11	1 kg féverole	Hausse (+ 1 kg)	- 0,7	-	-		Attention, fourrages médiocres, stade lactation avancé
12	4,5 kg féverole	Identique	- 0,2	- 0,3	- 0,8		Attention, changements de fourrages, suspicion de fièvre catarrhale, 3 semaines seulement d'utilisation
13	1 à 1,5 kg féverole	Hausse (+ 0,5 kg)	- 2,8	- 3,9	- 0,5	Amairissement des vaches	Attention, fourrages médiocres

Résultat positif
 Résultat nuancé
 Résultat négatif

Figure 3: tableau d'observations des 13 exploitations (d'après la CA Normandie)

Exemple pour l'exploitation n° 2 (troupeau de 52 vaches) – toastage de lupin

L'exploitation produit du lupin : soit elle le vend et achète plus de tourteau de colza, soit elle le fait toaster puis consommer par les vaches (pas de changement d'assolement). Voici le budget partiel réalisé dans ce deuxième cas.

Produits en plus		Produits en moins	
Lait en plus (+ 1,2 L / VL / jour, à 375 €/1 000 L)	700 €/mois	Lupin non vendu (1,9 t/mois à 325 €/t)	610 €/mois
		Taux en moins : - 0,9 TB, - 0,3 TP, (- 5 €/1 000 L pour 20,2 L)	160 €/mois
Charges en moins		Charges en plus	
Moins de tourteau de colza (- 1,9 t/mois à 240 €/t)	450 €/mois	Toastage (1,9 t à 50 €/t)	90 €/mois
		Aplatissage du lupin (1,9 t/mois à 38 €/t)	70 €/mois
Solde = + 220 €/mois			

Figure 4: exemple de budget partiel extrait du CA Normandie



c. Grapea Civam vendéen (Grapea-civam 85, no date)

Témoignage d'un éleveur :

« Les premiers retours sont très satisfaisants. Des essais ont également été conduits en maïs et céréales. Au niveau du troupeau, la réponse semble bonne ; nous n'avons toutefois pas encore fait d'approche au niveau économique. Un éleveur de bovins viande a fait toaster son maïs rempli de mycotoxines. Des tests ont montré qu'il n'y en avait plus après toastage. Le coût est estimé à 50 €/t, main-d'œuvre et refroidissement compris. En 2016, 350 tonnes ont été engagées sur le papier pour une dizaine d'éleveurs. On dispose d'un potentiel clients de 550 à 600 tonnes », rapporte Sébastien Schwab, GAEC des Ursule (Delisle, 2017).

	Lupin			Fèverole			Soja		
	Cru	Toasté	Différence	Cru	Toastée	Différence	Cru	Toasté	Différence
PDIN	211	271	1.3	167	217	1.3	203	254	1.3
PDIE	95	201	2.1	87	176	2.0	63	167	2.7
PDIA	42	153	3.7	34	127	3.8	21	126	6.0
UFL	1.18	1.26	1.1	1.03	1.11	1.1	1.2	1.39	1.2
UFV	1.16	1.25	1.1	1.02	1.10	1.1	1.09	1.39	1.3

Tableau 1: valeurs nutritionnelles des graines crues et toastées (GRAPEA Civam Vendée)

Ils ont aussi comparé les valeurs protéiques et énergétiques des graines de soja, lupin et fèverole toastées.

- Sur le plan protéique (PDIN) : Lupin > Soja > Fèverole → la fèverole toastée égale presque le soja
- Sur le plan énergétique (UFL) : Soja > Lupin > Fèverole (attention aux MG dans le soja graine entière)

Ration de base : foin + ensilage herbe précoce + maïs humide + maïs sec + complémentations selon performance

- Au GAEC des Rocs, effet du toastage/fèverole crue : +1.1 lait/kg toasté, au Contrôle Technique : +3.2 kg lait/vache entre 100 et 200j de lactation et +3 kg pour la moyenne du pic des multipares. Le coût du toastage : 6 à 8 centimes/kg toasté

d. Cuma Gers (CUMA Gers, 2015)

Témoignages d'un éleveur et de techniciens de Secopalm :

« L'avantage du soja toasté, ce sont les unités fourragères et l'appétence pour les vaches. C'est parfait pour équilibrer les rations avec de l'ensilage maïs. Les valeurs nutritives sont similaires à un tourteau de soja mais il y a un souci par rapport au taux de matière grasse à 22%. En engraissement, on est limité, nous sommes donc en train d'essayer le toastage de la fèverole pour compenser le besoin en protéines sans augmenter le taux de matière grasse », précise l'éleveur landais, Matthieu Etchevara (Bourdois, 2017)

« La graine de soja toastée ne peut pas être utilisée toute seule, il faut adapter la ration, avertissent Philippe Olivier et Richard Poeres, de la Secopalm. Et l'associer à d'autres matières, puisqu'elle ne fera qu'entre 38 et 40% de protéines contre 45-46% pour un tourteau extrudé. Cette graine fait aussi des rations très riches en matière grasse, ça peut être limitant sur certaines productions. » (Poudevigne, 2015)

Les résultats sont toutefois encourageants comme on peut le voir dans le tableau ci-dessous.

20 Montbéliardes (essai de courte durée sur petit effectif)	Substitution de 1-3kg de fèverole par l'équivalent toasté	<ul style="list-style-type: none"> • + 1,65l/vache/jour ; + 3,2l/vache/jour entre 100 et 200j de lactation • Légère chute des TB et TP • Chute du coût de la ration : -12,30€/1000l
44 Prim'Holstein en lactation (essai de courte durée sur petit effectif)	Substitution de 1,3kg/jour de lupin cru par du lupin toasté	<ul style="list-style-type: none"> • +3,1l de lait/vache/jour • TB : +4,1pt • TP : -1,4pt
Canard PAG (essai en cours en exploitation jusqu'à la découpe)	Substitution partielle du tourteau de soja par des graines toastées	<ul style="list-style-type: none"> • GMQ supérieur (120g/jour contre 90 à 6 sem., 55g/jour contre 40 à 9 sem.) • Poids supérieur à 9 sem. (4,4kg contre 4,1kg)
Volaille label (essais en cours)	Substitution partielle du tourteau de soja par des graines toastées	<ul style="list-style-type: none"> • Lot1 : 365g contre 335g à 3 sem. • Lot2 : rattrapage du poids théorique en 15j pour un lot parti à 800g à 6 semaines (contre 1160g. normalement)

Tableau 2: résultats Cuma Gers (source Poudevigne, 2015)



Dans les essais menés jusqu'à présent, le tourteau de soja a été remplacé par le **soja toasté + tourteau colza et/ou tournesol**. Concernant l'engraissement des canards et volailles, il n'y a pas eu de contre-performance voire un léger plus en gavage. En élevage de ruminant, il y a une perte de valorisation si la graine est trop broyée. Il est préférable de la donner entière pour les ovins et cassée pour les bovins.

Au niveau des valeurs nutritionnelles des graines, les résultats d'analyses : **variabilité des taux de protéines brutes → effet variété ?**

Ils ont évalué l'intérêt économique des graines toastées. Le tableau ci-dessous donne le prix d'intérêt en fonction du prix du tourteau pour une ration en engraissement de bovin viande (C.A Lot, 2016)

Prix intérêt tourteau soja en €	275	300	325	350	375	400	425
Prix soja toasté en €	200	216	236	255	276	291	309

Si on se base sur un coût du toastage à 31 €/tonne + les charges de manutention (charges opérationnelles et récolte = 350/ha, main d'œuvre en non irrigué 5h/ha). Les rendements sont de l'ordre de 18 quintaux. Le coût de production de la graine toastée serait en moyenne de 225€/tonne. Donc si notre prix de la graine toastée de soja est inférieur à 236€/tonne, il serait plus intéressant de toaster son soja quand le tourteau dépasse 325 euros/t.

e. Protéathermic : prestataire de service

Protéathermic est une entreprise qui propose de faire le toastage des graines chez les agriculteurs. La prestation est d'environ 50 €/tonne. Sur le site internet (<http://proteathermic.fr/index.php/blog>), on peut retrouver des exemples de rations et de valeurs alimentaires du soja, du pois, de la féverole et du lupin.

FORMULES ALIMENTAIRES VACHES LAITIÈRES

VALEUR / Msèche	40 kilos ensilage maïs + 3 kilos tourteau soja	40 kilos ensilage maïs + 80 gr urée + 2,5 kilos graines soja + 1 kilo tourteau soja	40 kilos ensilage maïs + 50 gr urée + 2,5 kilos graines soja + 2 kilos féverole
UFL	0,92	0,96	0,97
PDIN	90	90	91
PDIE	90	90	91
PDIA	39	37	41
MG	2,7	4,7	4,7
AMIDON	24	26	26

5. Quelles valeurs nutritionnelles pour les graines toastée

Les valeurs INRA des graines toastées sont souvent surestimées et sont a priori en cours de modification. Il serait important d'avoir davantage d'analyse des valeurs nutritionnelles des graines toastées pour faire des estimations fiables aux agriculteurs.



Source : www.gnis.fr



		Analyses constitutives et chimiques				Paramètres calculés de valeur fourragère								
		MAT		MG		UFL		PDIN		PDIA		PDIE		
		En g/kg brut				/kg brut		g/kg brut						
	Source	Aliment	Cru	Toasté	Cru	Toasté	Cru	Toasté	Cru	Toasté	Cru	Toasté	Cru	Toasté
Féverole	Secopalm + Gabb 32 ¹	Féverole	230	279	13	15	1.03	1.11	167	217	34	127	87	176
	Protéathermic ²	Féverole	240	254	14	20	1.04	1.10	153	201	42	133	94	180
	Grapea Vendée ³	Féverole (1 échantillon)	-	-	-	-	1.03	1.11	167	217	34	127	87	176
	Table INRA 2007 ⁴	Féverole à fleurs blanches	268	270	11	14	1.03	1.11	170	214	45	141	96	190
		Féverole à fleurs colorées	254		13		1.04		162		45		97	
		Féverole extrudée	269	-	14	-	1.10	-	197	-	102	-	154	-
CA Normandie ⁵	Féverole (12 échantillons)	249	270	11.1	14.7	1.06	1.12	158	192	40	87	93	140	
Lupin	Secopalm + Gabb 32	Lupin	330	364	70	91	1.18	1.26	211	271	42	153	95	201
	Protéathermic	Lupin	330	364	70	75	1.18	1.26	211	271	42	153	95	201
	Grapea Vendée	Lupin (1 échantillon)	-	-	-	-	1.18	1.24	211	271	42	153	95	201
	Table INRA 2007	Lupin bleu	307	318	53	55	1.13	1.17	199	249	64	155	124	212
		Lupin blanc	341	-	84	-	1.18	-	213	-	47	-	106	-
		Lupin blanc extrudé	360	-	89	-	1.24	-	263	-	132	-	188	-
CA Normandie	Lupin (4 échantillons)	297	306	72.5	85.3	1.12	1.12	184	218	37	98	94	157	
Soja	Secopalm + Gabb 32	Soja	350	376	180	200	1.12	1.39	203	254	21	126	63	167
	Protéathermic	Soja	350	376	180	190	1.12	1.39	203	254	21	126	63	167
	Table INRA 2007	Soja	-	352	-	192	-	1.3	-	238	-	118	-	157
		Soja extrudé	348	-	179	-	1.27	-	262	-	180	-	214	-
Soja tanné		352	-	192	-	1.3	-	276	-	206	-	237	-	
Tourteau soja	Secopalm + Gabb 32	Tourteau de soja 48	460	/	20	/	1.07	/	332	/	170	/	223	/
	Table INRA 2007	Tourteau de soja 48	516		21		1.06		331		177		229	
		Tourteau de soja tanné	516		21		1.06		389		337		374	
		Tourteau de soja extrudé	516		21		1.06		334		192		242	
Pois	Protéathermic	Pois	240	225	20	20	0.99	1.13	138	174	31	105	82	156
	Table INRA 2007	Pois	206	220	10	11	1.04	1.11	130	170	29	103	83	156
		Pois extrudé	219		11		1.10		152		61		116	

Tableau 3: Comparaison des valeurs entre graine crue et graine traitée. MAT= Matières azotées totales ; MG= matières grasses totales ; UFL= Unité fourragère Lait ; PDIA= protéines digestibles dans l'intestin d'origine alimentaire ; PDIN= protéines digestibles dans l'intestin permises par l'azote ; PDIE= protéines digestibles dans l'intestin permises par l'énergie

¹ Secopalm Gabb 32 : (CUMA Gers, 2015)

² Protéathermic : <http://proteathermic.fr/ind ex.php/blog>

³ Grapea Vendée : (C.A Normandie, 2016)

⁴ Table INRA : (Baumont et al., 2007; C.A Normandie, 2016; Rulquin, Vérité, & Guinard-Flament, 2001)

⁵ CA Normandie : (C.A Normandie, 2016)



6. Quelles perspectives pour le toastage en France ?

- Les chambres d'agriculture de l'Orne et du Calvados continuent d'étudier les résultats du toastage sur plusieurs fermes et souhaitent créer un réseau d'échange. **Les facteurs étudiés sont la production les taux et la qualité du lait, puis faire un bilan économique pour évaluer si la prestation est rentable.**
 - Etudes à envisager : effets du broyage sur la ration, bilan énergétique du toastage, vérifier les teneurs en AA des graines toastées, analyser les valeurs des graines avant et après toastage.
 - Essai à la station expérimentale la Trinottières (hiver 2017 -2018). Dans le cadre d'un programme de recherche et d'expérimentation, les objectifs sont d'augmenter l'autonomie protéique des élevages en étudiant cette technique dans des conditions expérimentales.
 - La chambre d'agriculture du Calvados cherche à renforcer les observations entre élevages dans le cadre d'un Réseau toastage potentiellement construit entre les régions Vendée, Pays de Loire et Bretagne.
 - Calcul des PDI à modifier avec INRA
 - Essais sur les monogastriques avec le GAB 85 ou le CAB
- Projet d'acquisition d'un toasteur en région AURA en cours.
- Société Idena fait des essais sur les graines toastées de protéagineux pour revaloriser les productions locales (essai sur la digestibilité du lupin) mais aussi le soja qui ferait gagner 3 semaines d'engraissement (Delisle, 2017)
- Améliorations techniques du toasteur (C.A Normandie 2016)
 - Inverseur installé sur l'écluse, limitant les risques de bourrage
 - Trémie hydraulique (gain de temps à la mise en place)
 - Colonne de ventilation installées sur le lieu du stockage pour refroidir les graines
 - Vidange facilitée par plus de trappe (meilleure traçabilité pour AB)
 - Utilisation du biogaz via méthanisation ?

Globalement, il est difficile de conclure clairement sur l'effet du toastage en France en l'état. Les analyses montrent une amélioration des PDI de la graine toastée comparé à la graine crue et la littérature confirme que l'aliment est protégé de l'activité ruminale (Mogensen *et al.*, 2008). Cependant, les retours d'expérience des éleveurs et les résultats d'analyse des valeurs nutritionnelles des graines sont très variables. Il semblerait que dans le cas d'un élevage où la ration est déjà bien équilibrée, les graines toastées ont des effets positifs sur la production et le coût de la ration. Il ne faudrait pas broyer trop finement les graines toastées au risque de perdre l'effet *by pass*. L'augmentation de la production laitière a eu un effet de dilution des taux protéique et butyreux (C.A Normandie, 2016).



Synthèse bibliographique d'articles scientifiques

Les articles concernant le toastage sont très variés. La plupart concerne le soja et ont été publiés dans des pays étrangers comme les Etats unis ou le Canada où cette technique existe depuis plusieurs dizaines d'années (tableau 6 : synthèse des données sur le soja). En France, il n'existe pas beaucoup d'articles à ce sujet où s'il y en a, ils concernent les oléo-protéagineux en général. Cela est probablement dû aux volontés politiques qui souhaitent renforcer l'autonomie protéique de l'agriculture française. Une première partie sera consacrée aux études sur le soja en France et à l'international puis sur les autres oléo protéagineux.

7. Le soja : une source de protéine privilégiée

f. En France

Sur les ruminants

Institut de l'élevage, collection fiche technique : les graines de soja dans la ration des ruminants (Odiene, Jacquroud and Rouillé, 2015)

Cet article ne concerne que l'extrusion et les graines crues de soja. D'après Scott et al.(1991) (cité par Odiene et al., 2015), les 4.1 kg de graines de soja extrudées intégrés dans la ration entraînent une hausse de la production de lait (+ 1.8 kg de lait) et une baisse du TB par dilution. Selon l'institut et en confrontant les données bibliographiques, l'optimal serait : une ingestion de 3 à 4 kg de MS de graines de soja extrudées donne les résultats zootechniques les plus intéressants : baisse de l'ingestion de tourteau soja -2.5 kg de MS, une MS ingérée de la ration identique, une hausse de la MG de la ration, et sur la production laitière : hausse de la production laitière lait +3kg/j, baisse des TP -0.6kg/j et un TB variable. **Les graines de soja crues ne semblent pas être un bon substitut au tourteau de soja dans la ration des bovins viandes.**

Comment mieux valoriser les protéagineux et oléagineux en alimentation des ruminants 2003 (Poncet *et al.*, 2003)

Les graines entières ou très grossièrement broyées ont montré leur efficacité pour protéger l'azote qui y est contenu. L'idée est de développer les techniques permettant d'accroître la valeur azotée des produits alimentaires, de façon à remplacer le tourteau de soja. Les teneurs en matières azotées du lupin et de la graine de soja sont voisines et comparables à celles des tourteaux, sauf celles du tourteau de soja qui a des teneurs les plus élevées. Colza, lin et pois ont des teneurs les plus faibles, la féverole étant intermédiaire. Les matières azotées sont majoritairement des protéines (dont l'albumine et les globulines qui représentent la majorité et sont très solubles)

Légumineuses	Teneurs élevées en lysine et faible en AA et tryptophane
Soja	Mieux équilibré en acides aminés
Colza et oléagineux	Assez bien équilibré en AA
Tournesol	Albumines riches en cystéines et certaines en méthionine

La présence de lipides entraîne une diminution de la digestibilité des parois des aliments qui est accentuée en cas d'apport de matières grasses polyinsaturées comme avec les oléagineux. Cet effet est remarquable dans les rations à base d'ensilage de maïs mais est limité lorsque la ration contient moins de 5% de lipides. La MG du lin perturbe fortement la digestibilité ruminale, car elle est riche en acide linoléique. Les graines d'oléagineux et de protéagineux se caractérisent par une dégradabilité ruminale élevée de l'azote (faible PDIA et PDIN très supérieur à PDIE). Les valeurs azotées dépendent de la teneur en protéine de la graine. Les graines de soja et tournesol ont une proportion d'azote dégradé plus faible que les autres graines car leur vitesse de dégradation est plus lente et favorise la synthèse de protéines microbiennes. La digestibilité intestinale est moins variable entre graines. La réévaluation des PDIE montrent une valeur plus élevée sur certains protéagineux entiers ou concassés. Pour déshuiler une graine, il faut en général deux chauffages, une cuisson à 60-100°C et une éventuelle extraction au solvant et désolvation, un autre chauffage avec injection de vapeur à 110°C pour éliminer les dernières traces de solvant ainsi que les FAT. **La valeur PDIE des tourteaux est donc plus élevée que celle des graines en raison de l'accroissement de la teneur en protéines, de la réduction de leur vitesse de dégradation ruminale. Toutes ces modifications entraînent une augmentation des PDIA.** Il existe une variabilité génétique importante des teneurs en protéines des graines (ex : chez le pois de 18 à 32%). La composition des protéines n'est pas seulement dépendante du milieu mais aussi sous contrôle génétique. Les traitements hygrothermiques dans lesquels l'action de la chaleur se conjugue à celle d'une hydratation externe sous forme d'eau ou de vapeur à pression réduite entraînent des modifications biochimiques (réaction de Maillard : liaison entre les amines libres de la protéine et les sucres réducteurs). Leur efficacité peut être accrue par l'addition de sucres réducteurs, apportés par trempage. La présence d'eau qui diffuse la chaleur et le sucre (tels que le xylose) facilitent la réaction de Maillard. **En cas de chauffage prolongé ou température trop élevée, la liaison de polymérisation est irréversible, rendant les A.A partiellement indisponibles pour l'absorption intestinale.** D'après Tice et al., 1993 (cité par Poncet et al., 2003) l'augmentation de la taille des particules de la graine de soja

Projet PSDR-4 / POEETE (réfléchir la POlyculture Elevage à l'échelle des Exploitations et des TErritoires)



torréfiée, de 0.6 à 4.7 mm de diamètre moyen, ne modifie pas la digestibilité de la ration, mais accroît *in vivo* la part d'azote by pass de la graine de soja de 29 à 48%. **La torréfaction de la graine de soja augmente la production de lait à même forme de présentation de la graine (taille >4.75mm).** En réduisant la granulométrie de la graine, la production laitière passe par un maximum (taille moyenne 2.92mm) puis diminue pour rejoindre la production observée avec la graine grossière non toastée qui est très soluble (>4.5mm). Ceci montre qu'il existe un optimum granulométrique et que l'on peut annuler l'effet positif du toastage en broyant la graine torréfiée même grossièrement (grille de 0.9 cm). Les graines de colza ne sont pas à distribuer entière car il y a une perte de digestibilité trop forte chez les vaches. Par contre, les ovins peuvent manger les graines entières grâce à leur mastication. Dans une ration humide, il est possible de laisser la graine entière. Il existe peu de comparaisons directes entre protéagineux entier, concassé ou finement broyé. **Toutefois, plusieurs auteurs ont trouvé que des graines de soja, lupin ou pois grossièrement broyées (grille de 3.8 cm) pouvaient substituer du tourteau de soja chez les Vaches Laitières à haut Potentiel (VLHP), en particulier le lupin avec sa teneur en azote élevée.** La distribution d'oléagineux en graine entière ou grossièrement broyée est meilleure car elles réduisent moins le taux butyreux du lait (-0.9 g/kg) que les huiles pures correspondantes (-2.8 g/kg). Ceci est dû à la libération progressive des lipides dans le rumen qui limite la production d'acides gras trans responsables de la diminution des TB. La graine entière ou grossièrement broyée assure une protection partielle qui retarde l'hydrogénation de la matière grasse et accroître la part d'acides gras polyinsaturés, en comparaison à une distribution sous forme d'huile et de tourteau. **La torréfaction est un procédé simple et à l'avantage de préserver l'intégrité des tissus de la graine et donc d'assurer une auto protection des protéines. La dégradabilité ruminale des protéines diminue avec l'intensité du chauffage et sa durée, contrairement à la digestibilité intestinale qui augmente puis diminue. Les conditions optimales sont différentes entre aliments mais aussi pour un même aliment en raison de la diversité de traitement (granulométrie, méthode d'estimation de l'optimum, température, temps etc).** L'optimum de température pour l'extrusion est de 150°C. Sous l'effet de l'extrusion, la digestibilité intestinale augmente alors que la dégradabilité ruminale baisse. Mais cet accroissement de la digestibilité intestinale n'augmente plus au-delà de 110-140 °C. En conclusion, il est important de trouver des substituts au tourteau de soja, notamment en optimisant l'apport des protéagineux. Les connaissances des effets des traitements sont importantes surtout pour la graine de soja. Il faut développer ces études sur les protéagineux (d'autant plus que les études sont souvent menées *in sacco* ou *in vitro* et ne peuvent être extrapolées en condition *in vivo* sans réserve). Sauf si la graine contient des substances toxiques, il peut être intéressant de se pencher sur les PDI des graines peu endommagées physiquement. Ce serait une solution peu coûteuse.

Sur les monogastriques

Digestibilité apparente et vraie des acides aminés du tourteau de soja, du soja extrudé et toasté, 1999 (Kiener and Mariscal Landin, 1989)

Le tourteau de soja est largement utilisé dans l'alimentation des porcs notamment avec sa teneur très élevée en lysine et la digestibilité de ses protéines. Depuis quelques temps, l'utilisation de graine crue est en augmentation alors que les performances de ces régimes semblent limitées. Cette expérimentation a eu pour objectif d'étudier la digestibilité des acides aminés des graines extrudées et toastées en comparaison au tourteau de soja pour vérifier si son usage est pertinent. L'essai a été réalisé avec 3 porcs Large white mâles castrés d'un poids de 36.6kg selon 3 modalités (soja extrudé, soja toasté et tourteau de soja) et trois niveaux d'incorporation (5, 10 et 20%). La matière sèche, la quantité d'azote et les acides aminés ont été déterminés dans les aliments et les jus iléaux. La digestibilité vraie a été calculée par une analyse de régression linéaire. Les porcs recevaient chaque jour une ration de soja extrudé, soja toasté ou tourteau de soja de 1.4 kg dilué dans 2.8kg d'eau + 5 g de sel + 5 g de bicarbonate. **Le soja extrudé se comporte comme le tourteau de soja au niveau de la digestibilité vraie de la protéine et des AA.** La digestibilité apparente de la protéine et lysine sont de 82.6 et 87.1 pour le soja extrudé et 80.7 et 84.8 pour le tourteau de soja. **Le soja toasté présente une digestibilité apparente de l'azote et AA inférieure à celle du tourteau de soja et soja extrudé.** Cette différence ne s'explique probablement pas avec la variation des facteurs anti tryptiques et a déjà été rencontrée dans d'autres études. Lors de l'étude, le porc testant le soja toasté avait reçu un traitement qui aurait pu perturber la digestibilité. En parallèle, la digestibilité vraie des protéines a été déterminée en laboratoire et donnerait une légère différence entre soja toasté et extrudé (soja toasté=87.8, soja extrudé=93.2, tourteau soja = 89.5). Les acides aminés essentiels (arginine, lysine, histidine) sont ceux dont la digestibilité est la meilleure dans la protéine du soja. Cependant, la digestibilité de la thréonine et méthionine est plus basse pour le soja extrudé que pour le tourteau de soja. Au final, **la qualité de la protéine du soja extrudé est identique à celle du tourteau. Concernant le soja toasté, il n'a pas été possible de tirer des conclusions étant donné le problème de traitement rencontré. Il faudrait envisager de refaire cette expérience sur le soja toasté.**



Essai de régime alimentaire à base de graine de soja toastée seule, de graine toastée floconnée et de graines extrudées données à des porcelets en 2ème âge. Dans les 3 essais, des rations contenant 56% de blé, 20% de tourteau de soja, 15% de graine de soja, aliment minéral, et acides aminés ont été distribués à des porcelets 2ème âge. Les performances ont été mesurées sur l'ensemble de la période de post sevrage entre 7,5 kg et 26kg de moyenne. La consommation moyenne journalière n'a pas été influencée par le traitement, même s'il y a une différence significative entre l'essai 2 avec des résultats aux traitements de graine extrudée plus faibles. Dans les autres essais et entre traitement, il n'y a pas eu de différences significatives. **Cette étude montre que le type de traitement thermique n'apparaît pas comme un élément de différenciation entre les différentes graines de soja commercialisées. L'activité antitrypsique est un critère utile pour évaluer la qualité de cuisson des graines compte tenu de la variabilité constatée pour les différentes origines.** L'origine du produit compte dans la qualité du produit mais il faut en relativiser l'effet sur les animaux. Le temps de toastage est important, dans une étude de White et al 2000 le procédé a été insuffisant pour inhiber les FAT et l'uréase et **le traitement le plus chaud avec des graines humides a permis d'obtenir des performances équivalentes au tourteau de soja.** Les tables INRA AFZ 2002 attribuent des valeurs proches d'énergie nette aux graines extrudées (12.2MJ ENc/kg MS) et toastées (12.5 MJ ENc/kg MS).

g. A l'international

Sur les ruminants

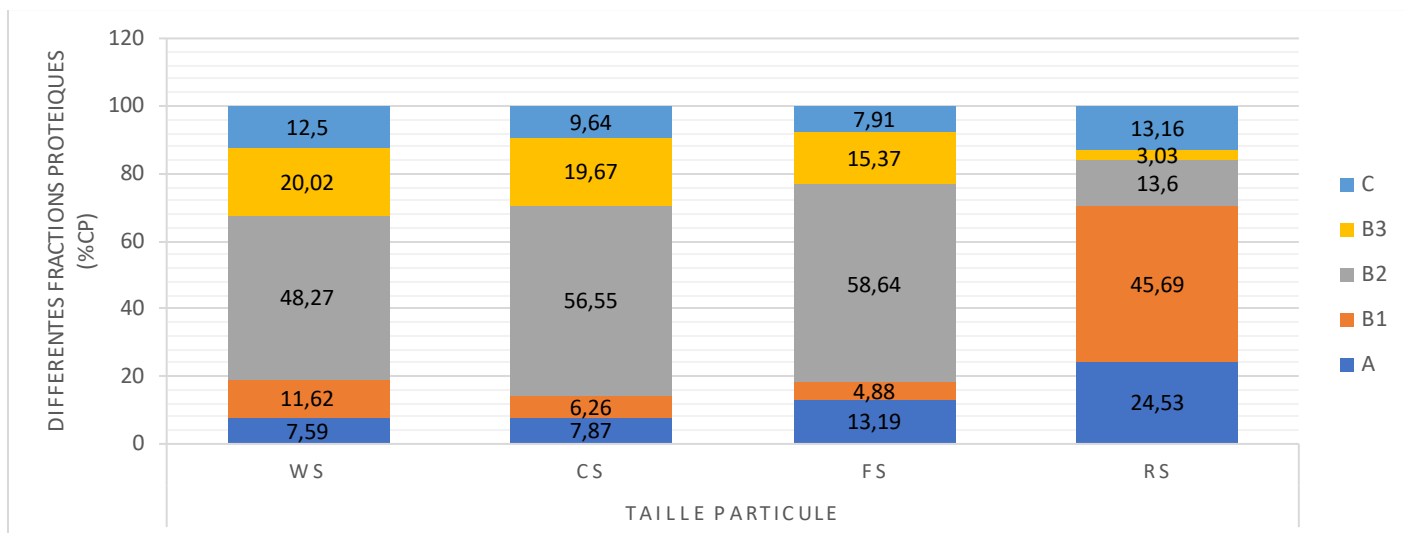
IRAN

Effet de la température, du temps de toastage et de la taille des graines sur les valeurs des protéines non dégradables dans le rumen du soja toasté / Effect of temperature, heating time and particle size on values of rumen undegradable protein of roasted soybean (Rafiee-Yarandi *et al.*, 2016)

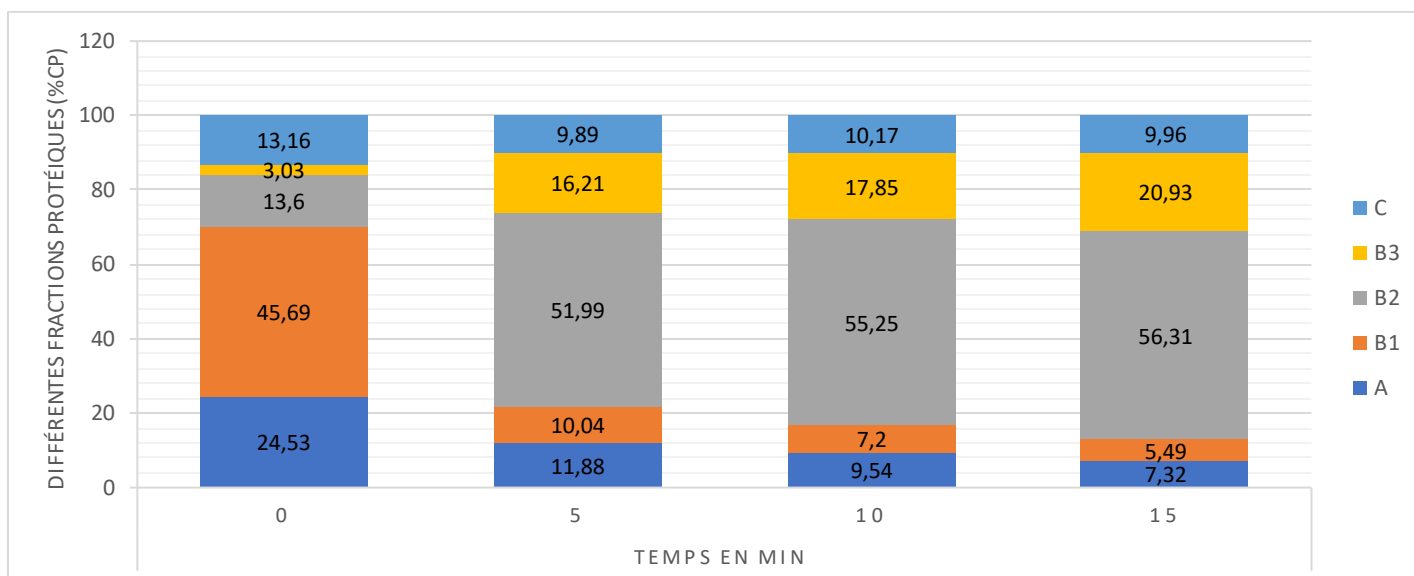
L'énergie et le coût nécessaire au traitement sont moins élevés pour le toastage que pour l'extrusion. En 1991, Socha (cité par Rafiee-Yarandi *et al.*, 2016) réalise une synthèse des effets du toastage sur 16 études et conclut que le toastage augmente la production laitière de 1.65kg/jour en comparaison à la graine de soja crue ou un tourteau de soja. Le soja toasté peut être considéré comme une excellente source de protéines non dégradables dans le rumen (RUP) avec des variations dans la qualité. Faldet *et al.*, en 1991 (cité par Rafiee-Yarandi *et al.*, 2016) ont trouvé que sur 13 lots d'échantillons de graines toastées **il y avait une forte variabilité des valeurs nutritionnelles des graines.** L'utilisation de graines toastées est fréquente mais il n'existe pas de recommandations claires sur les caractéristiques techniques du traitement. Cette étude a cherché à évaluer l'effet de la température (115°, 130° et 145 °C), du temps (5, 10 ou 15 min), et la taille (entier = WS, grossièrement = CS ou finement moulu = FS) de toastage de la graine de soja sur la dégradation des protéines. Le CNCPS a développé une approche qui fractionne les différentes protéines dans un aliment. Il y a 3 fractions : les protéines non azotées =A, les protéines vraies =B et les protéines non dégradables = C. les protéines vraies sont subdivisées en 3 fractions basées sur leurs dégradations dans le rumen, B1= 120% à 400% /heure, B2= 3% à 16% /h, B3= 0.06% à 0.55%/h. La fraction A et B1 sont solubles et facilement dégradées dans le rumen. B2 sont modérément dégradables et B3 est très lentement dégradables dans le rumen. La MS a augmenté linéairement à l'augmentation du temps et de la température de toastage. La température n'a pas eu d'influence sur la quantité de matière organique. Un des changements notables des protéines lors du chauffage est la perte des A.A labiles comme la cystéine et la lysine. La lysine est la plus sensible à la température. **Les résultats de cette étude ont montré que la taille, la température et le temps de toastage ont un effet significatif sur les différentes fractions de protéine, la température en ayant le plus.** Les protéines non dégradables dans le rumen (RUP) ont augmenté linéairement à l'augmentation de la température. L'augmentation de la RUP avec un toastage de 145 °C s'accompagne de l'augmentation des protéines facilement dégradables et de celles qui ne sont pas dégradables. **Alors qu'à 130°C et 115 °C, il y a une augmentation des protéines moyennement dégradables (B2). Il est estimé que cette fraction de protéines serait le meilleur indicateur des protéines *by pass* du soja. Leur recommandation en suivant la CNCPS et PDI serait de toaster 10 min à 115°C.**

A= protéines vraies facilement dégradables ; B1= protéines facilement dégradables (120% à 400%/h) ; B2= protéines modérément dégradables (3% à 16%/h) ; B3= protéines lentement dégradables (0.06% à 0.55%/h) ; C= protéines non dégradables

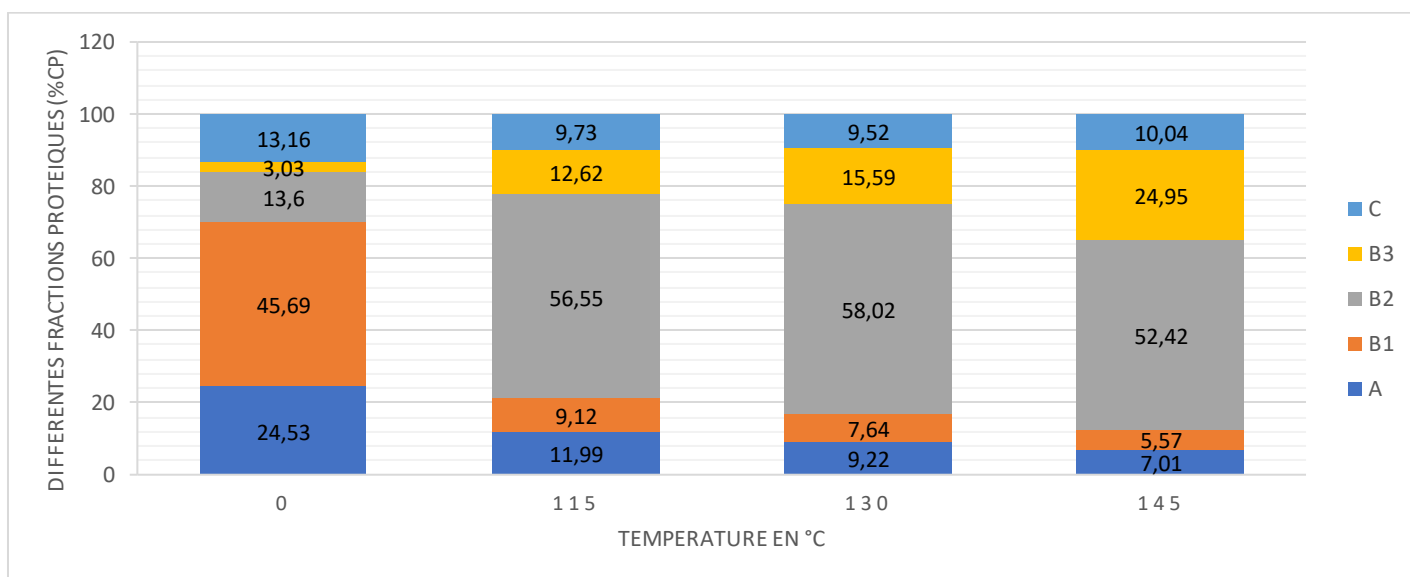




Graphique 1: effet de la taille des particules (WS= graine entière ; CS= graine grossièrement moulue ; FS= graine finement moulue ; RS= soja cru) sur les différentes fractions protéiques (%CP). A= protéines vraies facilement dégradables ; B1= protéines facilement dégradables (120% à 400%/h) ; B2= protéines modérément dégradables (3% à 16%/h) ; B3= protéines lentement dégradables (0.06% à 0.55%/h) ; C= protéines non dégradables



Graphique 2: effet du temps de toastage du soja (0, 5, 10 et 15 min) sur les différentes fractions protéiques (%CP)



Graphique 3: effet de la température de toastage du soja (0, 115°, 130° et 145°C) sur les différentes fractions protéiques (%CP)



Effet du toastage et de l'irradiation sur les propriétés des protéines, la dégradabilité ruminale et intestinale du soja et sur les performances des vaches laitières/ Effects of roasting and electron beam irradiating on protein characteristics, ruminal degradability and intestinal digestibility of soybean and the performance of dairy cows (Akbarian *et al.*, 2014)

L'expérimentation consiste en l'étude de l'effet du toastage ou de l'irradiation par électron sur la dégradation ruminale et intestinale du soja et les performances laitières. 3 vaches tarées fistulées ont reçues des sacs en nylon avec du soja toasté (RSB), du soja cru (USB) et du soja irradié (ESB) pendant 48h. Les auteurs se sont penchés sur l'irradiation aux rayons gamma car les autres traitements thermiques peuvent altérer les valeurs nutritives et diminuer la disponibilité des acides aminés des aliments, notamment lors de la réaction de Maillard. L'irradiation est un procédé coûteux ce qui limite son usage. **Cela a prouvé que le toastage permettait de diminuer la dégradabilité ruminale des protéines au profit de la dégradation dans l'intestin.** Ensuite, 9 vaches PH multipares en lactation (141 jours) ont permis de mesurer l'effet sur les performances laitières. L'efficacité laitière correspond à la quantité et qualité de lait produite pour une quantité d'aliments ingérés. La ration était composée d'ensilage de maïs, de foin de luzerne, d'orge, de maïs grain, tourteau de canne à sucre, son de blé, vitamines et minéraux selon le ratio 40:60, distribuée deux fois par jour (8h et 16h30). Le soja a été toasté à 145° C pendant 30 min. **Le toastage a eu un effet sur l'efficacité laitière comparé aux trois autres traitements, bien que la production et la composition du lait n'aient pas été différentes entre les 3 traitements. D'autres auteurs ont rapporté que le soja toasté n'avait que peu d'effet sur l'efficacité laitière dans le cas de ration à base d'ensilage de maïs. Par contre, il peut avoir un bon potentiel dans les rations à base d'ensilage de luzerne. Les résultats sont variables quant à l'augmentation des MG dans le lait avec le soja toasté, il n'y a pas d'unanimité sur ce point.**

Effets du soja toasté et d'un antibiotique sur la production et la composition laitière et le profil en acides gras des vaches laitières/ Effect of soybeans roasting and monensin on milk production and composition and milk fatty acids profile of lactating dairy cows, (Abdi *et al.*, 2013)

L'objectif a été d'évaluer l'effet de l'introduction de soja toasté et d'antibiotique (Monensin) sur la production laitière et la composition du lait. L'étude a été menée sur 9 vaches PH multipares en lactation (35+/-4 kg/jour de lait) réparties dans 4 essais : un essai contrôle avec du soja cru (C), un essai avec du soja cru et l'antibiotique (M), un essai avec du soja toasté (R), un essai avec du soja toasté et l'antibiotique (RM). La ration de base était composée de 40% foin de luzerne et 60 % de concentré (orge moulu, maïs moulu, tourteau coton, pulpe betterave, son de blé, sel, minéraux et vitamines). Le soja a été toasté à 140°C pendant 20 minutes. La ration avec du soja entier toasté + antibiotique n'a pas eu d'effet significatif sur la production ni la composition du lait. Ce résultat a été retrouvé dans la bibliographie, bien que certains auteurs aient observé une augmentation de la production laitière. Ces variabilités peuvent s'expliquer par le stade de lactation, la composition des rations ou encore la taille de l'échantillon.

DANEMARK

Les effets du toastage sur le lupin bleu, le soja et l'orge comme concentrés pour des vaches laitières à haut potentiel nourries à l'ensilage de trèfle à volonté en agriculture biologique / Effects of toasting blue lupins, soybeans or barley as supplement for high yielding, organic dairy cows fed grass-clover silage ad libitum, 2008 (Mogensen *et al.*, 2008)

L'expérimentation a eu lieu dans des exploitations laitières en bio au Danemark. 63 vaches PH primipares et multipares ont été allouées aléatoirement entre les trois traitements (graine toastée, crue et un test). Ils ont comparé trois types de concentré (graines de soja, orge et lupin) toastés ou non toastés avec un test contrôle basé sur un mélange céréalier. Le reste de la ration est constitué d'ensilage de trèfle 84 % MS, bouchon d'herbe 11% MS et de la paille 5% MS à volonté. T1 = lupin t2= orge t3=soja. La ration est donnée à volonté et la traite a lieu deux fois par jour. L'expérimentation a eu lieu durant l'hiver 2004/2005. **Le toastage diminue bien la dégradabilité ruminale des protéines (méthode *in situ*). En comparaison au lupin cru, le lupin toasté avait tendance à augmenter la production de lait (24 kg avec lupin cru contre 25.6 kg/jour pour le lupin toasté) mais à diminuer le taux protéique (32.2 contre 32.7 g/kg). En revanche, le soja n'a pas eu d'effet sur la production ni sur la qualité du lait.** Le lait corrigé par l'énergie (ECM en anglais ou LCE) a été significativement plus élevé pour les vaches soignées au soja toasté comparé au non toasté (28.1 contre 26.4 g/kg LCE)

BRESIL

Le soja sous différentes formes et différents traitements dans l'alimentation de vaches laitières croisées au pâturage/ Soybean in different forms of processing in the feeding of crossbred cows on brachara grass pastures (Andrade *et al.*, 2015)

L'expérimentation a eu lieu au Brésil avec des vaches croisées PH et Gir nourries à l'herbe et supplémentées à la canne à sucre et concentrés (28%) d'août à novembre en 2009 (période sèche). La durée de l'expérimentation était de 14 jours avec 9 jours d'acclimatation. 5 vaches multipares avec 150+/- 14 jours de lactation et une moyenne de production laitière de 7.1+/-2.11kg/jour ont été réparties selon un carré latin 5*5= 5 vaches* 5 traitements* 5 périodes expérimentales. Le traitement était : du tourteau de soja (SM), du soja graine (SB), du soja broyé (GSB), du soja toasté (RSB) ou du soja toasté et broyé (GRSB). Les vaches ont eu



accès au pâturage en continue et les traites avaient lieu à 6h30 et 15h30 durant laquelle elles recevaient les compléments individuellement selon le ratio de 1kg pour 3litres de lait. Le matin, les vaches recevaient uniquement les concentrés puis le soir elles recevaient 5 kg de fourrage de sucre de canne. Le niveau de protéine crue de la ration était de 28% MS pour les concentrés. Les échantillons de lait composés de 2/3 du matin et 1/3 du soir ont été analysés en laboratoire. La matière sèche, les protéines crues, les fibres non dégradables (NDF neutral detergent fiber) des rations et la capacité d'ingestion n'ont pas été affectés par les différentes formes de soja mais les taux de matières grasses ont été plus élevés pour les animaux nourris avec du soja grain plutôt que le tourteau de soja. Au niveau de la production laitière, les animaux nourris avec une ration à base de soja toasté et broyé (GRSB) ou de tourteau de soja ont eu de meilleurs résultats que les animaux nourris au soja cru. Les autres rations ont donné des résultats de production laitière intermédiaires. Il n'y a pas eu de différence sur la composition du lait. **En conséquence, le tourteau de soja peut être remplacé par les graines de soja broyées ou toastées (entière ou broyée) dans les cas de production laitière faible ou peu exigeante pour des vaches nourries à l'herbe, d'autant plus que le coût est amoindri.**

ETATS UNIS

Le soja toasté, sang et suif comme source de matière grasse et protéines by pass dans l'alimentation des vaches laitières / Roasted soybeans, blood meal, and tallow as sources of fat and ruminally undegradable protein in the diets of lactating cows (Pires, et al., 1996)

L'objet de cette étude a été de mesurer l'impact du soja toasté, du sang et du suif sur la dégradation ruminale des protéines et la production laitière des vaches. 45 vaches choisies selon la date de vêlage, l'âge et la production laitière précédentes ont été réparties aléatoirement dans les traitements suivants (entre parenthèse : % de MS, protéine crue, %MG/MS) : tourteau de soja SBM (16, 35 et 3.2 %), soja entier toasté WRSB (18, 40 et 6.2%), soja toasté broyé GRSB (18, 40 et 6.2%), sang BM (2.7, 40 et 3.2%) et sang + suif BM +T (2.7 et 3 ; 40 et 6.2%). La ration de base était constituée de 20% d'ensilage de luzerne, 30% de maïs ensilage et 50% de concentrés. Le soja a été toasté à 143°C pendant 30 min. Les protéines crues de chaque aliment ont été estimées selon les tables NRC. Les graines broyées avaient une taille de 5.95 mm. Les vaches étaient traitées deux fois par jour et nourries le matin et le soir avec un mélangeuse préparée tous les matins pour la journée. **La production laitière (38.4 kg/j) et le % de MG (3.37%) ont été similaires en fonction des traitements. Le soja toasté a présenté le plus faible taux de TP.** Les tailles de grains toastés influencent leur utilisation sur des vaches laitières bien qu'il n'y ait eu aucun avantage du soja toasté sur le tourteau en première source de complémentation azotée. **La production laitière tendait à être plus élevée avec l'alimentation GRSB (4.3 kg/j) qu'avec le WRSB et BM +T semblait augmenter aussi la production comparée au BM (3.2kg/j).**

Effet de la taille des particules de soja toasté sur la production laitière de vaches / Particule size of roasted soybeans and the effect on milk production of dairy cows (Dhiman et al., 1997)

L'étude a porté sur l'effet de la taille des particules sur la production laitière et la digestion des vaches laitières. 15 vaches PH au même stade de production ont été réparties aléatoirement en 5 traitements : 1) soja entier cru (RWSB), 2) soja toasté entier et coupé en deux (RSBWH), 3) soja toasté en moitié et quart (RSBHQ), 4) soja toasté coupé en quart et plus (RSBQQ) et 5) soja toasté broyé (RSBCG). Le soja a été toasté à 146°C et trempé pendant 30 minutes avant le refroidissement. Pour le soja du traitement 4 et 5, les graines sont passées dans un broyeur (roller mill), pour le traitement 5, la graine est passée par un broyeur à marteaux (hammer mill) avec un tamis à 0.95 cm. Les vaches ont reçu une injection de 500 mg d'hormone de croissance (Sometribove Zinc, Monsanto) toutes les deux semaines. La ration était composée de 33% MS d'ensilage de trèfle, de 17% d'ensilage de maïs, de 30.5% de maïs épi humide, 18% de soja et les minéraux et vitamines (ratio 50% fourrage/50% grains). Les échantillons de lait ont été prélevés sur les deux traites consécutives du matin et du soir et ont été analysés par infrarouge. 18% de MS proviennent du soja et apportent 40 % des protéines totales de la ration. Au niveau des graines entières, le traitement 2 a donné le rendement en lait le plus élevé (+ 1.9 kg/jour) en comparaison avec le soja cru. Par contre, au niveau des graines broyées, la production laitière la plus élevée a été dans le cas du traitement 3. Dans une autre étude, les résultats montraient qu'il n'y avait pas d'amélioration de la production laitière à cause de la réduction de la taille des particules de soja toasté. Les MG et TP ont été similaires entre les traitements. Le broyage des graines de soja toastées n'est pas recommandé car cela augmente la dégradation des protéines dans le rumen et peut impacter la production laitière. En revanche, la taille des particules la plus performante dans cette étude a été le traitement 4.

INDE

Le toastage et le traitement au formaldéhyde pour augmenter les protéines by pass dans l'alimentation des ruminants et leurs importances : synthèse documentaire/ Roasting and formaldehyde method to make by pass protein for ruminants and its importance : a review (Kumar et al., 2015)

L'article est une synthèse bibliographique sur ces deux procédés. Le traitement thermique de la graine de soja entière améliore sa palatabilité et détruit les facteurs antinutritionnels. La graine de soja s'avère être un aliment excellent à introduire dans l'alimentation des animaux à haut potentiel, des bœufs et des jeunes broutards si son incorporation dans la ration est bien faite.



Le toastage est le traitement thermique la plus communément utilisée pour le soja et le soja toasté peut être incorporé dans des rations complètes ou en tant que concentrés énergétiques et protéiques. On peut l'incorporer dans des rations pour de vaches laitières à haut potentiel 15 à 20 kg lait/j.

Sur les monogastriques

L'effet du toastage et de l'extrusion sur les nutriments en comparaison au tourteau de soja en alimentation porcine / Roasting and extruding affect nutrient utilization from soybeans in 10 and 20 LB pigs, 1994 (KIm *et al.*, 1997)

90 porcs ont été répartis dans 5 expérimentations : 1) tourteau de soja, 2) soja K+ toasté, 3) Soja K+ extrudé, 4) Soja K- toasté et 5) Soja K- extrudé. Le gène K est un gène d'expression de l'inhibiteur tryptique Kunitz. L'objet de cette étude est de tester l'effet du traitement sur du soja avant ou sans le gène de l'inhibiteur dans une porcherie. La ration était composée de 96.5% de soja (tourteau, toasté ou extrudé) + de minéraux et vitamines. Les porcs sevrés pesaient 4.7 kg et avaient 21 jours d'âge. Les teneurs en protéines et acides aminées du soja utilisé ont été similaires aux attentes du NRC (1988) avec une teneur plus élevée pour le tourteau de soja. Le traitement chimique est une méthode efficace pour diminuer les facteurs antitryptiques. Le soja toasté présentait des valeurs nutritionnelles inférieures à celles du soja extrudé. K- tendait à avoir des valeurs nutritionnelles plus élevées que K+. Les valeurs apparentes de l'azote digestible, % N retenu ont été supérieures pour les porcs nourris au soja extrudé que toasté.

8. Les protéagineux, un regain d'intérêt

FRANCE

Intégration du pois et féverole dans la ration des monogastriques : (GABB 32, 2014)

Les volailles sont sensibles aux carences en lysine et méthionine. Les variétés à privilégier sont celles qui ont des teneurs faibles en tanins, viscine et convicine, il s'agit de la féverole à fleurs blanches et des pois. L'étude a testé deux rations : l'une à base de lupin féverole et l'autre pois lupin. La féverole est adaptée aux rations de démarrage et de croissance car elle est plus riche en protéines que le pois. Le lupin a été ajouté car il possède plus de protéine que le pois et la féverole. Les deux types de rations, avec ou sans soja, apportent la même énergie, protéines, met et lys. En comparaison aux rations avec du tourteau de soja, les rations sans soja ont été complétées en phase de démarrage par un ajout de tourteau de tournesol (11 % au lieu de 6%), tourteau de colza (17% au lieu de 9%), graines de tournesol (11%) et le maïs a été supprimé. En croissance, il y avait du tourteau de colza (14% au lieu de 11%), graine de tournesol (11%) et le maïs a été supprimé. En finition, il y avait plus de tourteau de colza (11% au lieu de 6%), graines de tournesol (11%) et maïs a été supprimé. L'inconvénient est la présence de matière grasse qui limite le taux d'incorporation dans la ration. **Si l'on souhaite faire une ration sans soja à base de produit fermier, il est quasi indispensable de diversifier les matières premières et est difficile à atteindre car il n'y a pas de production de lupin ni soja.** Cependant, on peut améliorer son autonomie en utilisant de la féverole et du pois pour diminuer la part de soja et/ou d'utiliser du lupin pour retirer le soja. Au niveau économique, la ration sans soja est plus économique (100 euros/tonne de différence). A voir avec le toasteur ce que ça rapporte. Les porcs sont sensibles à des carences en lysine, les porcelets ayant le plus de besoins après le sevrage. **La féverole à fleurs colorées qui contient des tanins est à incorporer en quantité limitée contrairement à la féverole blanche.** Les rations qui ne contiennent pas du tout de soja présenteront des carences aux différents stades de croissance par rapport aux recommandations (concerne les acides aminés). Cela engendre des carcasses plus lourdes et grasses. **Les graines de tournesol (trop de cellulose) et colza (trop de glucosinolate) ne peuvent pas être incorporés au de la 5%. Au final, il est possible d'être un peu plus autonome et de diminuer le coût de sa ration en produisant du pois et de la féverole mais il est difficile de remplacer totalement le tourteau de soja. Les transformations à la ferme peuvent être intéressantes.**

Traitements technologiques des protéagineux pour les monogastriques avec la féverole (Kaysi and Melcion, 1992)

Le broyage permet d'améliorer l'accessibilité de l'amidon et d'accroître sa digestibilité. L'extrusion utilisée a permis de soumettre l'aliment à une pression de 200 bars et une température de 90 à 250°C durant un temps court. Le temps de séjour idéal pour des graines de soja est de 90 secondes, correspondant à une température de sortie de 135 à 140 ° C et une perte d'eau de 9%. L'efficacité du traitement dépend des objectifs. L'expansion se base sur une chaleur de 280-300°C apportée sous forme aérienne a des graines ; en 90 -120 sec le produit atteint 130 à 150°C et l'eau interne, brutalisée, va faire éclater la graine (d'où le nom popping).

CANADA

Evaluation de la graine de lupin crue ou toastée comme concentré protéique dans l'alimentation des vaches laitières/ Evaluation of raw and roasted lupin seeds as protein supplements for lactating cows (Singh, et al, 1995)



L'expérimentation a eu lieu au Canada sur 15 vaches multipares PH en milieu de lactation avec une production moyenne de 29 kg de lait/j. Elles ont été réparties en 5 essais suivant leur poids, âge et lactation. Le test a porté sur l'apport de concentré azoté à base de graine de lupin : lupin cru, lupin toasté et le contrôle tourteau de soja. La ration alimentaire des vaches a été définie selon un ratio 55 :45, avec de l'ensilage de luzerne et un concentré à base d'orge, maïs grain, sel, mélasse, vitamines et minéraux. L'ensilage a été distribué au 2/3 de la ration totale à 16h puis le reste à 6h. L'apport de concentrés a été fait en 5 fois par jour à l'aide d'un Distributeur Automatique de Concentrés (17h30, 01h45, 07 h45, 11 h45 et 21h45). La dégradabilité des protéines et les performances laitières ont été mesurées. La dégradabilité a été estimée avec 4 vaches fistulées dans lesquelles ont été mis des sacs. Puis, les résidus ont été pesés en fonction du temps d'incubation dans le rumen. Le minimum de temps est considéré comme la fraction d'azote soluble et le temps le plus long représente les protéines non digestibles. **Le toastage a augmenté la fraction de protéine crue non dégradabile dans le rumen de 37.7% à 44.7% comparé à celle du tourteau de soja qui est à 36.0%. e contenu en azote du lupin a été similaire à celui rencontré dans la bibliographie et est 2.6% moins élevé que pour le tourteau de soja. Le toastage a augmenté la part de protéines non dégradables dans le rumen (Undegradable Intake Portein) sans modifier la digestibilité. Il n'y a pas eu de différences entre la production laitière sous une alimentation au tourteau de soja ou lupin cru.** Ceci est en contradiction avec un autre auteur qui estimait que la production était moindre avec le lupin en comparaison avec le tourteau de soja. Cependant, le lupin était probablement plus finement broyé dans cet essai et a donc augmenté la dégradation ruminale des protéines. Alors que dans cette étude, les résultats des sacs ont montré que la dégradation et la solubilité des protéines étaient les mêmes pour le lupin cru broyé et le tourteau de soja. **Le lupin toasté a entraîné une augmentation de la production laitière comparé au lupin cru. Les teneurs en MG, protéine et lactose ont aussi été plus élevées que celles de l'essai avec du lupin cru mais similaire à celles obtenues avec le tourteau.** Au final, il semblerait que le lupin grossièrement moulu cru soit un bon substitut au tourteau pour les vaches en milieu ou fin de lactation et le toastage permettrait d'en augmenter la valeur nutritionnelle.

Les performances des vaches laitières nourries avec des graines de tournesol toastées/ Performance of dairy cows fed roasted sunflower seed (2004) (Sarrazin *et al.*, 2004)

L'objectif de cette étude est de déterminer l'effet du tournesol toasté sur la production de vaches laitières, la composition du lait et la fermentation ruminale. La technique du toastage est particulière : du sel est chauffé à 250 °C puis mis au contact de la graine pendant 60 secondes selon le ration 4 :1. Ensuite, le mélange passe dans un séparateur pour ne conserver que la graine qui en sortie est à 155°C. Le fait de chauffer permet de protéger les matières grasses de l'hydrogénation, d'augmenter la concentration d'acides gras disponibles en post digestion ruminale et d'en réduire la dégradation ruminale. Le traitement thermique avec des particules solides comme le sel ou le sable est plus performant que d'autres traitements de par une capacité de chauffe plus élevée pour un solide que pour l'air. La ration est composée de 50% de fourrage (140g/kg de foin grossier d'herbe, 360g/kg d'ensilage de trèfle et 500 g/kg d'ensilage de maïs) et 50 % de concentré (entre 62 et 57 g/kg de tourteaux de soja, 89 à 72 g/kg d'un concentré du commerce). Il y a trois lots de 3 vaches PH : un lot témoin sans graine de tournesol (le concentré est remplacé par du maïs grain 55 g/kg), un lot avec des graines crues (78 g/kg) et un lot avec les graines toastées (78 g/kg). Au niveau des performances laitières, les graines de tournesol n'ont pas eu d'effet sur la production ni sur la concentration en protéines mais augmenteraient l'efficacité laitière. Le toastage n'a pas non plus eu d'effet, ni l'extrusion selon d'autres auteurs.

Détermination de la valeur nutritive de la gesse avec ou sans traitement thermique sur les ruminants/ Determination of the nutritive value of unheated vs heat processed grass pea seed in ruminant (Riasi *et al.*, 2014)

L'objet de cette étude est de déterminer des valeurs de dégradabilité ruminale et des protéines en utilisant des techniques *in vitro* et *in situ*. Les résultats montrent que la gesse contient un haut taux de protéine (36%) et peut donc être une source de concentré protéique dans l'alimentation animale. Le procédé de chauffe réduit les tannins et l'acide Oxalyl DiaminoPropanoïque présents dans la graine. Différents temps de traitement thermique ont été testés, 1, 2 ou 3 heures à 120 °C pour évaluer le meilleur traitement. 3 h de chauffe augmente significativement la fraction lentement dégradabile de la graine. La dégradation ruminale de la MS et des protéines a un taux plus bas pour les graines toastées comparé aux graines non toastées. **Le toastage a un effet positif sur MS et la digestibilité des protéines.** La ration de base est composée de 37.52% de foin de luzerne, 11.21% d'ensilage de maïs, 18.76% de paille, 8.76% de graine d'orge, 4.4% de grain de maïs, 2.19% de tourteau de soja, 4.423% de tourteau de coton, 9.532% de son de blé, 0.931% de mélasse de betterave, 0.326% de carbonate de calcium, 0.311% de minéraux et protéines, et 1.637% de sel. 3 génisses PH fistulée nourries en deux fois à 8h et 16h pour lesquelles des sacs de polyester ont été placés dans le rumen avec des pores de 45 microns. 8 sacs ont été préparés pour chaque échantillon avec des temps d'incubation différents (= 2, 4, 8, 16, 24 et 48h). Tous les sacs ont été insérés en même temps juste avant le repas. Les sacs de 2 et 4 h ont été trempés au préalable pendant 15 min dans une eau à 39°C. **Le toastage réduit la quantité de tannins présents et les graines crues contiennent une proportion de protéines facilement digestibles plus élevée, ce qui justifie que le chauffage réduit la part de matière sèche facilement digestible ainsi que les protéines. Le traitement thermique n'affecte pas l'énergie ni la proportion de protéine microbienne. Les auteurs concluent que la graine de gesse chauffée a le potentiel pour être un substitut protéiné**



dans l'alimentation des ruminants et qu'il serait intéressant de poursuivre les recherches sur les processus qui permettent d'optimiser la valeur nutritive de la gesse.

DANEMARK

L'effet du pois fourrager toasté et du ratio d'ensilage de maïs dans une ration à base d'ensilage de trèfle sur la production, la composition et les qualités sensorielles du lait/ Effect of toasting field beans and of grass clover : maïs silage ration on milk production, milk composition and sensory quality of milk, (Mogensen *et al.*, 2010)

L'expérimentation a eu lieu durant l'hiver au Danemark sur 48 vaches PH réparties équitablement selon leur nombre de vêlages entre les 4 traitements (avec ou sans pois toastés, avec une proportion différente de maïs ensilage 9 ou 21% MS). Une ration complète distribuée 1 fois par jour après la traite *ad libitum* pour tous les animaux en bio : ensilage trèfle 48% MS, maïs ensilage 17%MS, avoine 10%MS, puis suivant l'essai, du pois non toasté 12% MS ou pois toasté 12%MS. Le pois a été toasté à 180°C pendant 90 secondes puis broyé après refroidissement. La production laitière a été enregistrée 3 fois durant la période d'expérimentation et la composition du lait a été analysée. Pour l'analyse sensorielle, des échantillons de lait du matin ont été rassemblés pour atteindre un volume de 60 litres qui a été pasteurisé. **L'effet du toastage sur la production laitière, l'urée ou les cellules somatiques n'a pas été significatif en comparaison au pois non toasté. En revanche, il y a eu une diminution des MG et protéines (44.2 contre 46.1 k/kg et 33.5 contre 34.2g/kg).** L'augmentation de la part de maïs ensilage dans la ration (9 à 21%) a entraîné une diminution de l'urée dans le lait alors que le taux de MG et les protéines n'a pas été affecté. Le lait des vaches nourries avec une plus forte proportion d'ensilage a présenté une diminution des acides gras à chaînes longues et une plus faible quantité de lutéine, de 13 cis beta carotène et beta carotène. Le toastage n'a eu aucun effet sur les caroténoïdes et un léger effet sur les acides gras. **Au final, ce traitement n'a eu aucun effet sur la production ou la qualité du lait. En parallèle, une augmentation de la part de maïs ensilage avec des aliments toastés entraîne une baisse de la qualité sensorielle du lait (odeur aigre).**

AUSTRALIE

Influence du toastage sur la dégradation ruminale des protéines de la féverole sur des vaches laitières/ Influence of dry roasting on rumen protein degradation characteristics of whole Faba bean (Vicia Faba) in dairy cows, (Yu *et al.*, 1998)

L'expérimentation consistait en la mesure de l'effet du toastage sur la dégradation ruminale des protéines crues de la féverole. Les graines ont été toastées à différentes températures (110°, 130° et 150°C) pendant 15, 30 ou 45 minutes. La dégradation ruminale des protéines crues a été évaluée à l'aide de sac d'incubation en nylon placé dans le rumen des vaches. Les vaches PH croisées jersiaise ont été nourries avec 60% de foin de trèfle (5,4kg/jour) et 40% de concentrés, des granulés du commerce (3,5 kg/jour). Au final, les résultats montrent que le toastage a permis de déplacer la dégradation des protéines du rumen à l'intestin en diminuant les pertes d'azote dans le rumen. **Avec l'augmentation de la température de toastage, il y a un potentiel d'augmentation de la qualité nutritionnelle de la graine en augmentant la dégradation des protéines dans l'intestin.** Cela peut être un avantage pour les vaches à haut potentiel. Il n'a pas été possible de déterminer un optimum de cuisson pour le toastage de la graine féverole car il faudrait poursuivre l'étude avec des essais sur la digestibilité intestinale. Cependant, au vu de la teneur en protéine *by pass* élevée, **il est fort probable que le toastage à 150° pendant 45 min soit la meilleure combinaison.**

ETATS UNIS

L'effet du toastage et de la température de toastage sur la valeur nutritive du maïs dans l'alimentation des porcs/ The effects of roasting and roasting temperatures on the nutritive value of corn for swine, (Costa *et al.*, 1976)

L'étude avait pour objectif de tester l'effet du toastage du maïs sur la croissance de porcelets. Plusieurs expérimentations ont été menées : 1) comparaison d'acceptabilité de différents maïs, 2) comparaison de maïs cru et toasté à différentes températures (80, 120 et 160° C), 3) comparaison des valeurs nutritionnelles d'un maïs cru et toasté et 4 et 5) évaluation du maïs toasté à 100°C en tant que complément unique énergétique ou protéique. Dans l'expérimentation 1), 18 porcelets de 9.92 kg devaient choisir entre un maïs standard, un maïs toasté à 80°, 100°, 120°, 140° et 160°C qui étaient en libre-service. Le maïs a été toasté pendant 30 à 35 seconde dans un toasteur électrique. La préférence a été le maïs toasté à 100°C (34.1% du total consommé), et en second choix le maïs standard non toasté (20.2%). Probablement que leur choix a été influencé par l'humidité (11.5%), l'arôme doux du toastage ou la gélatinisation modérée de l'amidon à cette température. Dans l'expérimentation 2), les porcelets avaient une ration composée de 14.9% de protéines en ajoutant le maïs sous différentes formes (standard, toasté à 80°, 120° et 160°C) et ils pesaient 70 kg environ. Les protéines crues, lysine, les extraits éthers, les fibres insolubles dans les détergents acides et l'énergie calorifique (gross energy content) n'ont pas été significativement affectés par la température du toastage. A 140 et 160 °C, il a été observé un effet pop-corn sur quelques grains. La gélatinisation de l'amidon passe de 13% pour le maïs cru à 57% pour le maïs toasté à 160°C. Lorsque les porcs ont été contraints avec un maïs toasté à 145°C, les auteurs ont observé que l'ingestion des porcelets diminuait contrairement aux porcs à l'engraissement. Dans le traitement 3) les caractéristiques de carcasses n'ont pas



été différentes entre les deux régimes. Puis, pour le traitement 4), les jeunes porcelets nourris au maïs toasté pendant 42 jours ont gagné plus rapidement (3.6%) et ont consommé plus de nourritures (3.8%) que ceux nourris au maïs standard. L'efficacité alimentaire a été la même pour les deux traitements. L'augmentation de l'ingestion peut s'expliquer par leur appétence pour le maïs toasté à 100°C. Au final, la valeur nutritionnelle du maïs a été la meilleure avec un toastage autour de 100°C.

FRANCE

Oléo-protéagineux : quels taux d'incorporation en post sevrage et engraissement ? (Royer *et al.*, 2005)

Des essais ont été menés à la station Institut Technique du Porc de Villefranche de Rouergue sur l'engraissement des porcelets et porcs charcutiers avec les oléagineux en graine crue. 3947 porcelets et 1022 porcs ont été répartis dans 9 études : en post sevrage, 4 traitements sont testés (4 taux d'incorporation différents) de 7.5 kg à 26 kg et en engraissement, 2 à 4 traitements sont comparés de 24-28 kg à 104-110 kg. La graine de tournesol ne renferme aucun facteur anti nutritionnel mais contient beaucoup de cellulose. Les essais montrent que 7 % de graines de tournesol donnent des performances équivalentes en post sevrage à 3 % d'huile de colza. Par contre, en engraissement, il n'y a pas eu de modifications des performances avec 4% de graines. Quant à la graine de soja, les retours d'expériences sont positifs en post sevrage si les FAN sont détruits. Les graines de soja doivent subir un traitement anti FAT de qualité, sans quoi les résultats sur les performances seront variables. Le coût souvent élevé limite leur utilisation en aliments pour porcelets ou truies à des teneurs inférieures à 15%. Les graines de tournesol et colza n'ont pas besoin de traitement thermique contrairement au soja. Les profils en A.A du pois et du tourteau de colza sont complémentaires et en association permettent de réduire l'utilisation du tourteau de soja. Les taux d'incorporation des protéagineux dépendent de leurs teneurs en FAT que l'amélioration génétique peut modifier, comme dans le cas du pois où il y a une réduction considérable des FAT. Les usages des graines de tournesol et colza dans les rations sont limités par leur teneur en acide linoléique (1.7% MS de l'aliment).

Conclusion

Les expériences d'utilisation de graines toastées en France sont peu nombreuses et ne répondent pas aux mêmes besoins. Dans le cas du Gers, les retours sont très positifs et le nombre d'adhérents à la CUMA ne cesse d'augmenter. Cela peut s'expliquer par une importante production de graines de soja dans cette région associée à un besoin de traçabilité dans les filières (production de canard pour le foie gras).

En revanche, les retours en Normandie sont partagés. Certains éleveurs sont très satisfaits de l'utilisation des graines de protéagineux toastées et souhaitent continuer leur démarche alors que d'autres ont vu la production laitière du troupeau diminuer et ne souhaitent pas poursuivre l'utilisation des graines toastées. Avant de se lancer, il faut d'abord maîtriser les techniques culturales d'oléo-protéagineux afin d'obtenir un produit de qualité puis, maîtriser l'introduction de ces nouveaux aliments dans la ration. Selon cette étude, il faudrait toaster seulement si la ration possède suffisamment d'azote soluble, qu'il y a un besoin en azote *by pass* et que les fourrages sont de qualité avec un déficit en PDIE. Le toastage n'est peut-être pas à envisager si le prix du correcteur azoté de substitution est plus intéressant (C.A Normandie, 2016).

A l'étranger, la technique du toastage est connue depuis les années 90 dans les pays d'Amérique du Nord, principalement sur la graine de soja dans les rations des vaches laitières. Les résultats sont quasiment unanimes quant à une amélioration de la valeur alimentaire des graines toastées consécutive à la protection des protéines et acides aminés de la dégradation ruminale. Par contre, les performances laitières ne sont pas régulières. Dans la plupart des cas, il y a une augmentation de la production laitière journalière, avec soit une augmentation des taux de TP et TB, soit sans augmentation (effet dilution). Cependant, il y a aussi des cas où aucune amélioration n'est observée (Abdi *et al.*, 2013; Pires *et al.*, 1996; C.A Normandie, 2016), comme avec le pois toasté dans l'étude de Mogensen *et al.* (Mogensen *et al.*, 2010), où la combinaison du pois toasté et d'une forte quantité d'ensilage de maïs a aussi altéré les propriétés sensorielles du lait.

Des études se sont penchées sur le temps, la température de toastage et la taille du broyage des graines toastées. Il semblerait que ces facteurs aient une importance dans la détermination de la qualité de la graine toastée, en particulier la température et la taille des particules broyées. Un broyage trop fin des graines pourrait diminuer l'effet *by pass* (Dhiman, *et al.*, 1997; Pires *et al.*, 1996; Poncet *et al.*, 2003; C.A Normandie, 2016; Rafiee-Yarandi *et al.*, 2016). Un temps de toastage pourrait avoir des conséquences irréversibles sur la digestibilité des protéines (Poncet *et al.*, 2003). La teneur en matière grasse de rations intégrant des graines toastées ou crues (notamment les graines de soja entière ou broyées) semble être un point de vigilance dans le rationnement des ruminants. La plupart des études ont été effectuées sur des vaches à haut potentiel laitier et en système ensilage (souvent de maïs). La question se pose pour les systèmes foin regain où l'azote soluble peut être limitant.

Le toastage semble être une technique prometteuse mais dont les résultats zootechniques méritent d'être vérifiés par des essais expérimentaux. La pertinence de son utilisation pourrait dépendre de la ration distribuée et de son équilibre.



Auteurs	Essai	Protocole	Ration		Composition graine de soja toastée					Production lait en kg/jour	TP en g/kg	TB en g/kg
			Ration fourragère	Concentrés	Toastage/granulométrie	CP	DM	EE	OM			
Mogensen L. et al Effet du toastage sur le lupin bleu, soja et orge DANEMARK 2008	Soja cru	Ferme bio 63 PH début lactation (4 -26 mois après le vêlage)	Ensilage de trèfle (84% MS), bouchon d'herbe (13% MS), paille orge (5%)	=3.7 kg/vache/j 440 g/kg d'orge, 540 g/kg de soja cru, 20 g/kg mélasse	3 mm	397 g/kg de MS				29.1	29.8	36.6
	Soja toasté			=3.7 kg/vache/j 504 g/kg d'orge, 477 g/kg de soja toasté, 20 g/kg mélasse	140° / 90 s / 3 mm	401 g/kg de MS				30.2	30.3	38
Akbarian A. et al. Effet du toastage et irradiation IRAN 2014	Soja cru	9 vaches PH multipares en milieu de lactation (140 j)	Maïs ensilage (272 g/kg), foin de luzerne (116 g/kg)	Grain d'orge (149 g/kg), grain de maïs (147 g/kg), 90 g/kg de soja (cru, toasté, irradié), tourteau de canne à sucre (125 g/kg), graine de coton (10 g/kg), son de blé (32 g/kg), megalac® (10 g/kg), minéraux et vitamine		386	913 g/kg	195		38.2	33.1	41.6
	Soja toasté				145° / 30 min	386	970 g/kg	203		39.5	32.4	41.6
Abdi E et al Effet du toastage et d'un antibiotique sur la production IRAN 2013	Soja cru	4 vaches PH multipares en début de lactation (83 j)	Foin de luzerne (40%)	Orge moulu (12%), maïs moulu (10%), tourteau de coton (11%), soja toasté ou non toasté (11.80%), pulpe betterave (4.5%), son de blé (7.80%), sel et minéraux + antibiotique (24mg/kg DM)					31.15	28.5	31.1	
	Soja toasté				140° / 20 min				32.21	28.2	31.4	
Pires A.V et al Effet du toastage soja sur la production laitière ETATS UNIS 1996	Tourteau soja	45 vaches PH en début de lactation (3 à 18 semaines après le vêlage)	Ensilage de maïs (30%), ensilage de luzerne (20%)	Maïs moulu (26.8%), tourteau soja 44% (15.9%), coques soja (5.11%), vitamines minéraux		17% MS	52.6%		39.6	29.8	33.0	
	Soja toasté moulu (GRSB)/entier (WRSB)			Maïs moulu (26.8%), soja toasté (18%), coques soja (1.71%), vitamines minéraux	Entier (5.95mm) et moulu (1.14mm) 143° / 30 min	GRSB 16.8% MS WRSB 16.9% MS	52.2 52.3		GRSB 40.7 WRSB 36.4	28.5 28.7	30.6 34.5	
Andrade V.R, et al Différentes formes de soja dans l'alimentation des vaches croisées au pâturage BRESIL 2015	Soja cru SB Soja cru broyé (GSB)	5 vaches multipares PH X Gir en milieu de lactation (150 j)	Pâturage (<i>Brachiaria decumbens</i>) + 5 kg de canne à sucre affouragée en vert	Maïs (314.3g/kg), soja entier ou broyé (657,1g/kg) et minéraux (28.6 g/kg)		288.1 g/kg MS (pour les deux)			SB 6.07 GSB 6.70	28.0 27.2	32.0 31.5	
	Soja toasté (RSB)/ Soja toasté broyé (GRSB)			Maïs (314.3g/kg), soja toasté entier ou broyé (657,1g/kg) et minéraux (28.6 g/kg)	100°/1h	279.9 g/kg MS		RSB 6.98 GRSB 7.98	26.9 27.3	32.4 31.6		
Dhiman T.R et al Effet de la taille des particules de soja sur la production de lait. ETATS UNIS 1997	Soja cru	15 vaches PH entre 35.1 et 51.3 kg/jour lait	Ensilage de trèfle (33% MS) Ensilage de maïs (17%)	Maïs épi (30.5%) Soja grain 18%		89.5%	36.9%		36.2	3.04%	3.37%	
	Soja toasté			Maïs épi (30.5%) Soja toasté 18%	146°	RSBWH :38.7% MS RSBHQ :39.0 RSBQQ :39.3 RSBCG : 38.9	98.7 98.4 99.2 98.8		38.1 38.7 37.4 37.0	3.04 3.02 3.04 3.08	3.43% 3.27% 3.16% 3.25%	

Tableau 4: synthèse bibliographique des valeurs nutritionnelles et des performances laitières apportées par le toastage du soja



Bibliographie

- Abdi, E. *et al.* (2013) 'Effects of soybeans roasting and monensin on milk production and composition and milk fatty acids profile of lactating dairy cows', *Livestock Science*. Elsevier, 153(1-3), pp. 73-80. doi: 10.1016/j.livsci.2013.01.018.
- Akbarian, A. *et al.* (2014) 'Effects of roasting and electron beam irradiating on protein characteristics, ruminal degradability and intestinal digestibility of soybean and the performance of dairy cows', *Livestock Science*. Elsevier, 168, pp. 45-52. doi: 10.1016/j.livsci.2014.07.019.
- Andrade, V. R. *et al.* (2015) 'Soybean in different forms of processing in the feeding of crossbred cows on brachiaria grass pastures', *Revista Brasileira de Zootecnia*, 44(2), pp. 37-43. doi: 10.1590/S1806-92902015000200001.
- Baumont, R. *et al.* (2007) *Alimentation des bovins, ovins et caprins. Besoin des animaux, valeurs des aliments. Table INRA 2007*.
- Beckers, Y. (2013) 'L'équilibre des rations alimentaires des bovins: Quelques pistes pour améliorer l'efficacité azotée', *Biotechnology, Agronomy and Society and Environment*, 17(SPL1), pp. 243-250.
- C.A Lot (2016) 'Le toastage des graines', *Bulletin Bio*, 26, pp. 64-65.
- C.A Normandie (2016) *Le toastage des protéagineux*.
- Cetiom (2003) 'GRAINES ENTIERES de SOJA : de l'énergie et des protéines', (1), pp. 3-6.
- Costa, P. M. A. *et al.* (1976) 'The effects of roasting and roasting temperatures on the nutritive value of corn for swine', *Journal of animal science*, 42(2), pp. 365-374.
- CUMA Gers (2015) *Le toasteur de soja*.
- Cuvelier, C. *et al.* (no date) *Livret de l'agriculture L'ALIMENTATION DE LA VACHE LAITIERE Physiologie et Besoins*.
- Dhiman, T. R., Korevaar, A. C. and Satter, L. D. (1997) 'Particle size of roasted soybeans and the effect on milk production of dairy cows', *J Dairy Sci*. Elsevier, 80(8), pp. 1722-1727. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(97)76104-6.
- GABB32 (2015) *Compte-rendu : Journée démonstration de toasteur de soja*. Available at: <http://gabb32.org/wp-content/uploads/2014/11/Compte-rendu-Journée-démonstration-toastage.pdf>.
- GABB 32 (2014) *Intégration du pois et féverole dans la ration des monogastriques*.
- Grapea-civam 85 (no date) *Autonomie protéique : Cultiver ses protéines à bas niveau d'intrants et les valoriser au sein de son élevage de ruminant*.
- Kaysi, Y. and Melcion, J.-P. (1992) 'Traitements technologiques des le monogastrique : exemples d'application à la graine de féverole', *INRA Productions animales*, 5(1), pp. 3-17.
- Kiener, T. and Mariscal Landin, G. (1989) 'Digestibilité apparente et digestibilité vraie des acides aminés du tourteau de soja, de la graine de soja extrudée et de la graine de soja toastée', *journée recherche porcine en france*, 11, pp. 23-30.
- Klm, I. *et al.* (1997) *Roasting and extruding affect nutrient utilization from soybeans in 10- 20 lb pigs*.
- Kumar, S. *et al.* (2015) 'Roasting and formaldehyde method to make bypass protein for ruminants and its importance: A review', *Indian Journal of Animal Sciences*, 85(3), pp. 223-230.
- Mogensen, L. *et al.* (2008) 'Effects of toasting blue lupins, soybeans or barley as supplement for high-yielding, organic dairy cows fed grass-clover silage ad libitum', *Livestock Science*, 115(2-3), pp. 249-257. doi: 10.1016/j.livsci.2007.08.011.
- Mogensen, L. *et al.* (2010) 'Effect of toasting field beans and of grass-clover: Maize silage ratio on milk production, milk composition and sensory quality of milk', *Livestock Science*. Elsevier B.V., 128(1-3), pp. 123-132. doi: 10.1016/j.livsci.2009.11.011.
- Odienné, C., Jacqueroud, M. and Rouillé, B. (2015) 'Les graines de soja dans la ration des ruminants La culture du soja Le semis à adapter suivant les régions La transformation et la composition alimentaire de la graine de soja Les valeurs alimentaires de la graine de soja', *institut de l'élevage*, 48, pp. 1-3.
- Pires, A. V., Eastridge, M. L. and Firkins, J. L. (1996) 'Roasted soybeans, blood meal, and tallow as sources of fat and ruminally undegradable protein in the diets of lactating cows.', *Journal of dairy science*. Elsevier, 79(9), pp. 1603-10. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(96)76523-2.
- Poncet, C. *et al.* (2003) 'Comment mieux valoriser les protéagineux et oléagineux en alimentation des ruminants', *Fourrages*, 174, pp. 205-229.
- Rafiee-Yarandi, H. *et al.* (2016) 'Effects of temperature, heating time and particle size on values of rumen undegradable protein of roasted soybean', *South African Journal of Animal Sciences*, 46(2), pp. 170-179. doi: 10.4314/sajas.v46i2.8.
- Riasi, A. *et al.* (2014) 'Determination of the nutritive value of unheated vs. heat processed grass pea seed in ruminants', *Journal of Agricultural Science and Technology*, 16(3), pp. 527-536.
- Rouillé, B., Devun, J. and Brunschwig, P. (2014) 'L'autonomie alimentaire des élevages bovins français', *OCL*, 21(4), pp. 0-4.
- Royer, E. *et al.* (2003) 'Incidence de l'origine et du traitement thermique des graines de soja dans l'alimentation du porcelet en 2^{ème} âge',



2(1), pp. 89–96.

Royer, E. *et al.* (2005) 'Oléo-protéagineux : quels taux d'incorporation en post-sevrage et engraissement ?', *Techni porc*, 28, pp. 13–19.

Rulquin, H., Vérité, R. and Guinard-Flament, J. (2001) 'Tables des valeurs AADI des aliments des ruminants', *INRA Productions animales*, 14.

Sarrazin, P. *et al.* (2004) 'Performance of dairy cows fed roasted sunflower seed', *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84(10), pp. 1179–1185. doi: 10.1002/jsfa.1802.

Singh, C. K., Robinson, P. H. and McNiven, M. A. (1995) 'Evaluation of raw and roasted lupin seeds as protein supplements for lactating cows', *Animal Feed Science and Technology*, 52(1–2), pp. 63–76. doi: 10.1016/0377-8401(94)00707-G.

Yu, P. *et al.* (1998) 'Influence of dry roasting on rumen protein degradation characteristics of whole Faba Bean (*Vicia faba*) in dairy cows', *AJAS*, 11(1), pp. 35–42.

Site internet

Delisle, C., 2017 : Toaster ses protéagineux pour gagner en autonomie, *Réussir bovins viande*, consulté le 20 aout 2017, <http://bovins-viande.reussir.fr/actualites/toaster-ses-proteagineux-pour-gagner-en-autonomie:IRXL2UOK.html>

Bargain V, 2016 : Toaster ses graines de protéagineux à la ferme, *Réussir lait*, du 04 mai 2016, consulté le 21 juillet 2017, <http://lait.reussir.fr/actualites/toaster-ses-graines-de-proteagineux-a-la-ferme:8HVMJ527.html>)

Bourdois, P., 2017 : Toaster collectif pour gagner en autonomie, *Entraid*, du 21/06/2017, consulté le 20 juillet 2017, <http://www.entraid.com/articles/toaster-collectif-pour-gagner-en-autonomie-alimentaire>)

Motin, V., 2016 : Le toastage au menu de l'autonomie alimentaire, *L'agriculteur normand*, du 13/10/2016, consulté le 24 aout 2017, <http://www.agriculteur-normand.com/actualites/le-toastage-au-menu-de-l-autonomie-alimentaire:WZ0QGYP8.html>

Poudevigne, E., 2015 : plus autonome en toastant ses protéagineux, *Entraid*, du 22/11/2015, consulté le 31/10/2015, <http://www.entraid.com/articles/plus-autonome-en-toastant-ses-proteagineux>

Pruilh.C., 2014 : Cuire la graine de soja a un intérêt en bovin, *Reussir Lait*, du 02/12/2014, consulté le 05/09/17, <http://lait.reussir.fr/actualites/cuire-la-graine-de-soja-a-un-interet-en-bovin:5CO5YW5J.html>

