

Valorisation technique et économique de graines de soja produites et toastées dans la région Grand-Est dans l'alimentation des vaches laitières

Compte-rendu d'essai sur la ferme du lycée de Rethel (08)



Collection

Résultats

Responsable de la rédaction :

Mémoire de stage de Guillaume SPRINGER, stagiaire d'Alice BERCHOUX (Institut de l'Élevage)
ESA Angers, promotion 119 – IM2 DA Lait Viande

Relecture :

Estelle HERMANT (Lycée agricole de Rethel)
Benoît ROUILLÉ (Institut de l'Élevage)
Maëva WEENS (Chambre régionale d'agriculture Grand-Est)

Mise en page :

Isabelle GUIGUE (Institut de l'Élevage)

Remerciements :

« Je tiens à remercier toutes les personnes ayant contribué à la bonne réalisation de ce stage. En premier lieu, je tiens à remercier Alice Berchoux, ma maître de stage, pour le suivi et l'accompagnement qu'elle m'a apporté tout au long de ce stage. Merci beaucoup d'avoir été aussi disponible et réactive au cours des cinq mois d'étude. Je te souhaite une bonne continuation dans tes futurs projets.

Je remercie toutes les autres personnes de L'Institut de l'Élevage avec qui j'ai collaboré. Merci à Sylvie Masselin, ma référente en analyse statistique, pour les précieux conseils sur l'analyse statistique. Merci à l'ensemble des collaborateurs de l'Antenne de Laxou pour l'accueil.

Je tiens également à remercier toutes les personnes avec qui j'ai pu travailler sur la Ferme du Lycée Agricole de Rethel. Je pense notamment à Estelle Hermant, Directrice de la ferme du lycée agricole, et à Thierry Hugot.

Merci également à Monsieur Lechartier pour le suivi et la réactivité de ses réponses à mes questions. »

Table des matières

Partie I : Étude Bibliographique

<i>I. Les Matières premières Riches en Protéines, vers la fin d'une dépendance historique ?..</i>	9
A. Une dépendance à l'importation des graines oléo-protéagineuses d'origine historique.	9
B. L'émergence de nouveaux enjeux qui remettent en cause la situation actuelle.....	11
<i>II. L'autonomie alimentaire des exploitations</i>	12
A. L'autonomie alimentaire : neuf indicateurs déclinables à différentes échelles.....	14
B. L'autonomie alimentaire de 2014 à 2018 : parallèle entre la situation française et celle de la région Grand-Est.....	14
C. Les leviers d'action pour améliorer l'autonomie protéique en concentrés.	16
<i>III. La culture de soja</i>	18
A. Le développement de la filière soja en France et dans le Grand Est.....	18
B. La région Grand-Est, un potentiel de production pour la culture de soja	18
<i>IV. Les différentes formes de valorisation du soja en élevage et leurs caractéristiques</i>	19
A. L'incorporation de la graine de soja crue dans la ration et ses limites.....	19
1. Le seuil d'incorporation des graines de soja crues.	19
2. Les limites d'utilisation des graines de soja crues	21
B. Les traitements des graines de soja	21
C. Focus sur le toastage des graines.....	21
1. Le processus de toastage.....	21
2. Les effets bénéfiques du toastage sur la graine de soja.....	24
3. L'impact de la graine de soja toastée sur les performances des vaches laitières	26
<i>V. Reformulation de la problématique</i>	26

Partie II : Étude Technique

<i>I. Matériel et Méthodes</i>	29
A. Le Matériel expérimental	29
1. Le dispositif expérimental	29
2. Les critères d'allotement des animaux.....	29
B. L'alimentation	31
1. Les fourrages	31
2. Les concentrés	31
3. Focus sur le mélange de coproduits.....	31
C. Les Contrôles et analyses	34
1. La période pré-expérimentale	34
2. La période expérimentale	36
D. Le traitement des données	38
<i>II. Les résultats</i>	40
A. Les résultats techniques.....	40
1. Des groupes homogènes à la mise en lot	40
2. Les ingestions des animaux	40

3. Les performances laitières par lot.....	42
4. L'évolution physique des vaches laitières par lot.....	46
B. La ration à base de graines de soja toastées, des résultats économiques plus faibles ...	48
1. La ration composée de graines de soja toastées, une marge alimentaire moins élevée.	48
2. Des hypothèses de fluctuation des coûts en défaveur de la ration avec des graines de soja toastées. .	50
<i>III. Discussion Générale</i>	<i>50</i>
A. Une ingestion inférieure à l'ingestion théorique	50
B. Les performances laitières.....	51
C. L'absence d'effet sur l'évolution de l'état physique de vaches laitières.....	52
D. Les résultats économiques pénalisés par la baisse du taux protéique	52
E. Le développement du soja local, une piste crédible mais risquée.....	53
F. Les limites opérationnelles de l'étude	53
G. Les perspectives de l'étude	54
<i>Conclusion</i>	<i>55</i>
<i>Bibliographie</i>	<i>57</i>
<i>Annexes</i>	<i>61</i>

Sigles et abréviations

ARPEEGE : Autonomie en Ressources Protéiques et Énergétiques des Élevages du Grand-Est

Ca : Calcium

CB : Cellulose Brute

CIL : Centre Interprofessionnel Laitier du Grand-Est

CNIEL : Centre National Interprofessionnel de l'Économie Laitière

COP21 : 21ème Conférence des parties de la Convention-Cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (Conference of the Parties en anglais)

CST : Comité Scientifique et Technique

cts : centimes

DCellMO : (Digestibilité cellulase de la Matière Organique de l'aliment concentré prélevé brut)

DCS : Digestibilité enzymatique

DE1 : Digestibilité Enzymatique 1 heure

IDELE : Institut de l'Élevage

ITEB : Institut Technique de l'Élevage Bovin

ITOVIC : Institut Technique de l'Élevage Ovin et Caprin

FAN : Facteur Antinutritionnel

FAT : Facteur Antitrypsique

Ha : Hectares

j : jour

Kg : Kilogramme

LANO : Laboratoire Agronomique de Normandie

l : litre

MAT : Matière Azotée Totale

MG : Matière Grasse

MM : Matière Minérale

MRP : Matières Premières Riches en Protéines

MS : Matière Sèche

MSCA : Marge Sur Coût Alimentaire

NH₃ : Ammoniac

OGM : Organismes Génétiquement modifiés

OP : Organisation de Producteurs

P : Phosphore

PDI : Protéines Digestibles dans l'Intestin

PDIE : Protéines Digestibles dans l'intestin issues de l'Énergie

PDIN : Protéines Digestibles dans l'Intestin issues de l'azote

PL : Production Laitière

T : Tonne

TB : Taux Butyreux

TMB : Tonne de matière brute

TMS : Tonne de matière sèche

TP : Taux Protéique

UFL : Unité Fourragère Laitière

VL : Vache Laitière

°C : Degrés Celcius

€: euros

La souveraineté alimentaire, et notamment protéique, est un enjeu majeur en élevage. Dans un contexte de volatilité du coût des matières premières, de préoccupations environnementales et d'un souhait du consommateur de revenir à une alimentation plus locale, il convient de relocaliser la production des matières premières riches en protéines. Le projet ARPEEGE s'inscrit dans cette dynamique avec la volonté de produire de nouvelles ressources protéiques à l'échelle de la région Grand-Est et en particulier par le développement de la culture du soja. Ces ressources pourront ensuite être valorisées par les élevages de la région et ainsi leur permettre de répondre à des démarches qualité comme l'alimentation sans OGM.

Dans ce contexte, les partenaires du projet s'interrogent sur l'intérêt technique et économique de l'incorporation de graines de soja toastées dans la ration de vaches laitières. Pour répondre à ce questionnement, un essai zootechnique a été mis en place au cours de l'hiver 2020-2021 sur la ferme du lycée de Rethel (08).

Ce rapport est structuré en deux parties. Dans un premier temps, la demande de l'étude est détaillée et située dans son contexte à partir d'un travail bibliographique. Ce travail aboutit à la reformulation de la problématique et à la deuxième partie qui est l'étude technique. Dans cette seconde partie seront présentés le matériel et les méthodes utilisées, puis les résultats obtenus et la discussion.

Depuis 2019, l'Institut de l'élevage (IDELE) est partenaire du projet GO PEI (Groupe Opérationnel - Partenariat Européen pour l'Innovation) ARPEEGE (Autonomie en Ressources Protéiques et Énergétiques des Élevages du Grand-Est) qui regroupe les 24 principaux acteurs de l'amont et de l'aval des filières animales et végétales de la région Grand-Est. Ce programme cherche à améliorer l'autonomie alimentaire régionale par la coopération entre les productions animales et végétales et le développement et la valorisation de nouvelles cultures riches en protéines. Cela passe par un rapprochement de l'intérêt des éleveurs et des céréaliers à travers la formation de cercles vertueux de production et d'utilisation des protéines végétales.

Un des axes du projet est la construction d'une filière de production de soja à l'échelle de la région Grand-Est. IDELE s'intéresse plus précisément à la valorisation du soja produit en région dans la ration des vaches laitières. Dans ce contexte, IDELE a formulé la question suivante :

Quel est l'effet de l'incorporation dans la ration de graines de soja toastées localement sur les performances techniques et économiques des vaches laitières ?

IDELE cherche ainsi à évaluer la réponse des vaches laitières à une complémentation protéique à base de graines de soja toastées sur une ration à base de maïs ensilage et de betteraves (fourragère et pulpe).

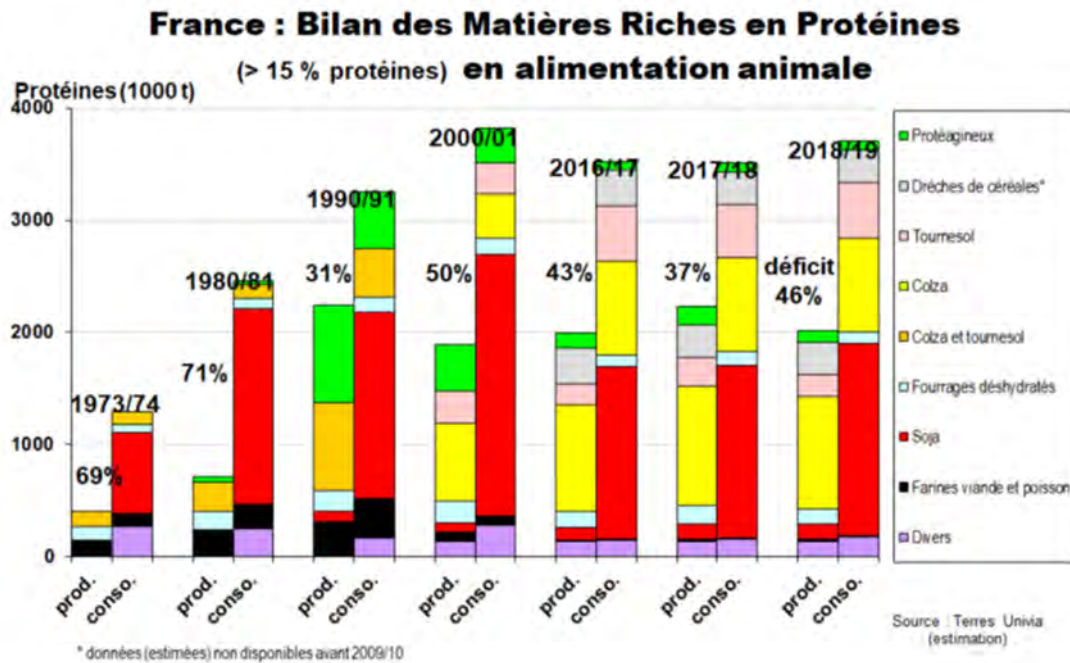


Figure 1 : Évolution de la production et de la consommation des MRP depuis 1973-1974 à 2018/2019 (Source : Terres Univia, 2020)

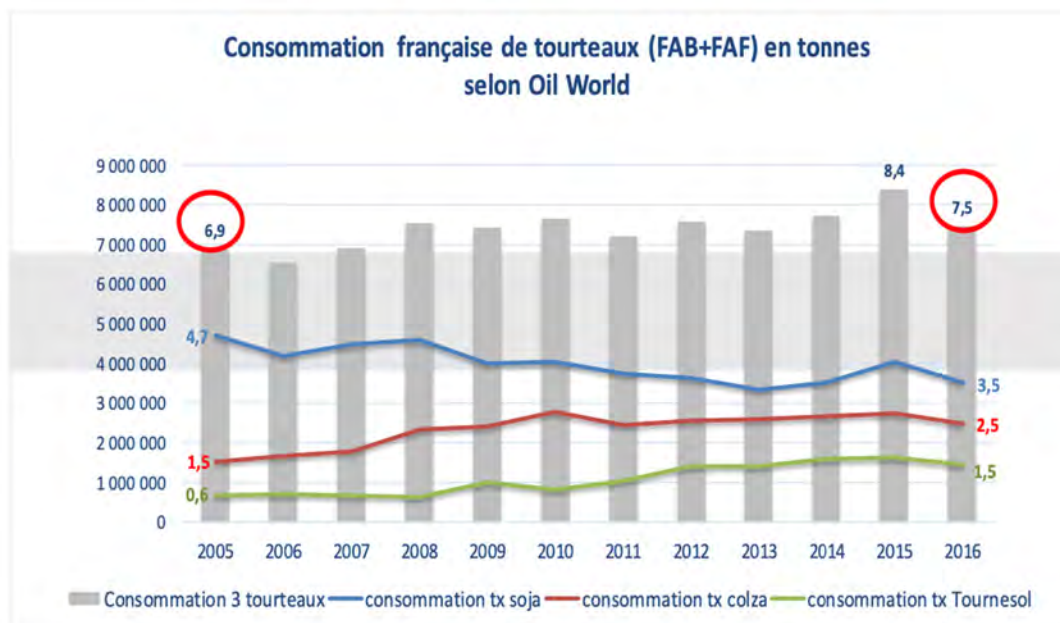


Figure 2: consommation en tourteaux de soja, colza et tournesol en France depuis 2005 (source : Céréopa, 2017)

I. *Les Matières premières Riches en Protéines, vers la fin d'une dépendance historique ?*

A. Une dépendance à l'importation des graines oléo-protéagineuses d'origine historique

Dans les années 1960, les échanges du GATT (General Agreement on Tariffs and Trade) ont abouti à la signature d'accords commerciaux entre les États-Unis et la CEE (Communauté Économique Européenne). Pendant que l'Europe obtenait des droits protecteurs pour la structuration et l'organisation des filières céréales, elle a en contrepartie consenti à une exonération de taxes pour des produits tels que les oléo-protéagineux provenant d'Amérique. Cela a favorisé l'importation des oléo-protéagineux et a rapidement créé un déficit de l'Europe en matières premières protéiques. De nombreuses mesures ont par la suite creusé ce déficit (ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, 2014) bien que la dépendance au soja importé ce soit réduite ces dernières années. Ainsi, les Matières premières Riches en Protéines (MRP) utilisées dans les élevages français sont principalement issues de l'importation hors Union Européenne (ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, 2014). Sur la période 2018/2019, 46 % des matières premières utilisées pour couvrir les apports protéiques provenaient de l'importation (Figure 1). En 2016, Les principales sources de MRP en élevage sont les tourteaux de soja (3,5MT), de colza (2,5MT) et de tournesol (1,5MT) (Figure 2). Ces tourteaux représentent 28 % des tonnages de matières premières protéiques utilisées en France (Coopération Agricole NA, 2021).

La France est aujourd'hui dépendante des protéines étrangères et doit faire face à l'émergence de nouvelles exigences économiques, environnementales et sociétales qui remettent en question le modèle actuel. Pour s'adapter à ces nouveaux enjeux, il semble nécessaire d'investir dans la production de protéines françaises et ainsi de diminuer leurs importations.

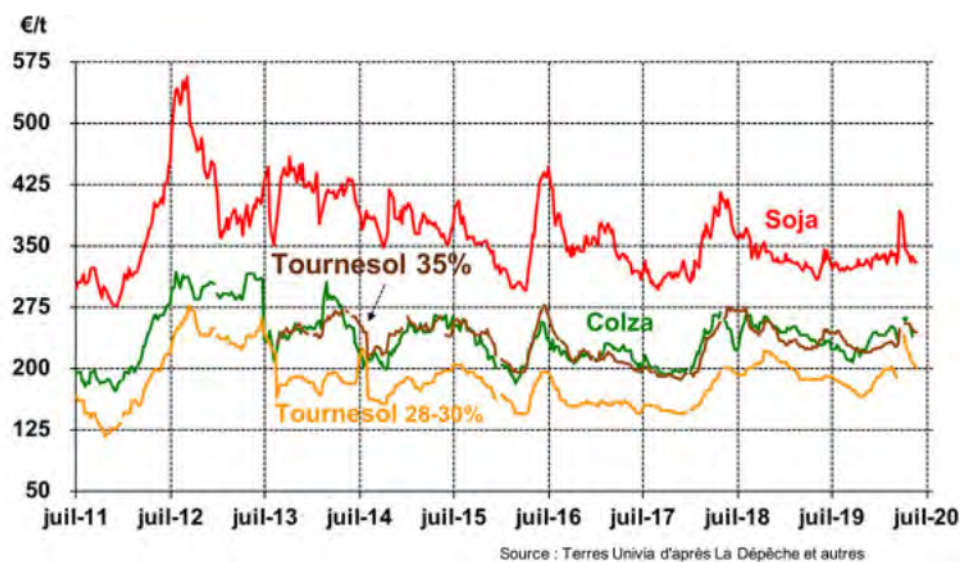


Figure 3: Évolution du prix des tourteaux de soja, colza et tournesol De juillet 2011 à juillet 2020 (Source : Terres Univia, 2020)

B. L'émergence de nouveaux enjeux qui remettent en cause la situation actuelle.

a) *Des matières premières soumises à des fluctuations de prix importantes.*

Le cours des matières premières riches en protéines est très volatile sur les marchés mondiaux, et ce quel que soit le type de protéine. Les facteurs pouvant l'expliquer sont nombreux : évolution de la demande mondiale, accroissement des aléas climatiques, conflits géopolitiques (Figure 3).

Ces variations de prix peuvent représenter des surcoûts alimentaires pour les éleveurs. L'alimentation est un poste de dépense important en élevage. Le coût du système d'alimentation (aliments achetés, frais d'approvisionnement de surfaces, frais de mécanisation des surfaces fourragères et du coût du foncier) représente 46 % des charges opérationnelles en élevage (dispositif INOSYS - Réseaux d'Élevages, 2019). La forte volatilité du coût des matières premières complique cette maîtrise et donc la rentabilité des élevages.

b) *Un modèle environnemental remis en question*

Les matières premières riches en protéines utilisées en élevage sont majoritairement issues des pays d'Amérique du Sud, des États-Unis ou de l'est de l'Europe. C'est le cas du soja, importé à 90 %. Il est le principal tourteau consommé en élevage (Rouillé, 2021 cité par Bargain 2021). Pour le produire, la déforestation, le défrichage et une consommation excessive en eau sont des pratiques courantes. Ces pratiques menacent la biodiversité locale (diminution de 83 % des espèces vertébrées entre 1970 et 2010 en Amérique latine) et impactent négativement le climat mondial (WWF, 2016). De plus, pour l'acheminer jusqu'en France, le soja parcourt en moyenne plus de 10 000 km. Ainsi, le poids carbone du soja issu de la déforestation est de 2 kg de CO₂eq par kilogramme de soja produit (Prudêncio Da Silva *et al.*, 2010).

Un des engagements pris lors de la COP 21 est de réduire de 20 % l'empreinte carbone du lait français d'ici 2025 (France Terre de Lait, 2017). Ces engagements ont été repris par le CNIEL en déployant la démarche Ferme Laitière bas carbone en région comme c'est le cas en région Grand-Est (CNIEL, 2020).

Le projet ARPEEGE s'inscrit dans cette démarche et a pour vocation de favoriser la production de matières premières locales pour réduire l'impact environnemental de la culture et du transport de ces protéines.

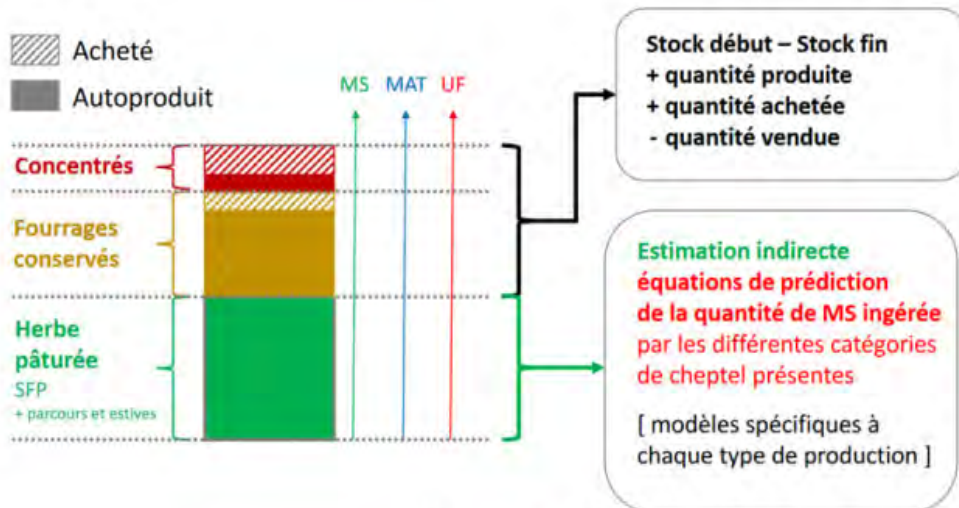
c) *Des attentes sociétales en évolution.*

L'impact environnemental, le bien-être animal et la qualité des produits alimentaires sont des préoccupations citées par les consommateurs vis-à-vis de l'élevage (Delanoue *et al.*, 2018). Les motifs de préoccupations varient selon le type d'élevage. L'élevage bovin a globalement une image positive mais pose question en termes d'émission de gaz à effet de serre, notamment de méthane entérique.

Pour faire face à ces inquiétudes, les filières ont dû répondre aux nouvelles exigences des consommateurs. Des démarches de différenciation ont été mises en place par les laiteries ou les organisations de producteurs. Par exemple, l'Organisation de Producteurs Bel garantit aux consommateurs que les produits vendus ont été fabriqués à partir de lait produit par des animaux nourris sans OGM et qui pâturent au minimum 150 jours par an (Groupe Bel, 2017). Ce type de valorisation représente une opportunité importante pour le développement des cultures oléo-protéagineuses non OGM en France, à condition que celles-ci soient économiquement rentables pour le céréalier et pour l'éleveur. Le traçage des aliments non OGM entraîne un coût supplémentaire. Ce surcoût est particulièrement marqué pour le soja non OGM qui se situe entre 60 et 100 euros/T (La coopérative Agricole NA, 2021).

II. L'autonomie alimentaire des exploitations

Parmi les leviers d'adaptation identifiés pour répondre aux enjeux économiques, environnementaux et sociétaux, la hausse de l'autonomie alimentaire est une piste à envisager.



Source : INOSYS Réseaux d'Elevage

$$\text{Autonomie alimentaire (en \%)} = \frac{\text{Aliments produits et consommés sur l'exploitation}}{\text{Aliments consommés par les animaux (produits et achetés)}}$$

Figure 4: Schéma de la méthodologie des calculs de l'autonomie alimentaire chez les ruminants (Sources : dispositif INOSYS- réseaux d'élevages, 2020)

3 x 3 = 9 indicateurs	Massique qté de MS	Protéique qté de MAT	Energétique qté d'UF
Fourrages (dont herbe pâturée)	%	%	%
Concentrés	%	%	%
Ration = fourrages + concentrés	✓	✓	%

Figure 5: les indicateurs de l'autonomie alimentaire (Source : Dispositif INOSYS-Réseaux d'Élevages, 2020)

A. L'autonomie alimentaire : neuf indicateurs déclinables à différentes échelles.

L'autonomie alimentaire se définit comme la proportion de nourriture (fourrages et concentrés) destinée aux animaux qui est produite sur l'exploitation (dispositif INOSYS - Réseaux d'Élevages, 2020) (Figure 4). L'autonomie alimentaire peut être déclinée selon neuf indicateurs. Elle concerne tout ou partie de la ration : la ration totale, les fourrages et les concentrés (dispositif INOSYS - Réseaux d'Élevages, 2020).

- **Autonomie de la ration (exprimée en %)** : proportion de la ration produite sur l'exploitation.

- **Autonomie fourragère (%)** : proportion des fourrages produits sur l'exploitation.

- **Autonomie en concentrés (%)** : proportion des concentrés produits sur l'exploitation.

Pour chacune des unités précédentes (ration, fourrages, concentrés), l'autonomie alimentaire peut se mesurer selon la matière sèche, la concentration énergétique (UFL) ou protéique (MAT) (Annexe 1). Ainsi comme illustré par La Figure 5, il existe 9 indicateurs pour exprimer l'autonomie alimentaire (exprimés en pourcentage).

De plus, celle-ci peut être calculée à différentes échelles : atelier, exploitation, région, etc. Il est donc crucial de bien définir le périmètre retenu et le critère utilisé quand on présente des chiffres d'autonomie alimentaire.

B. L'autonomie alimentaire de 2014 à 2018 : parallèle entre la situation française et celle de la région Grand-Est.

A l'échelle de la région Grand-Est, les élevages bovins lait, viande et ovins ont une autonomie massique de ration légèrement supérieure à celle au niveau national en 2018 (environ 86 % pour la région contre 83 % à l'échelle nationale) (dispositif INOSYS - Réseaux d'Élevages., 2020). En région, l'autonomie massique en fourrages est de 95 % et de 32 % pour les concentrés. La dépendance en concentrés est forte sur les exploitations de la région. Les niveaux d'autonomie restent relativement stables sur la période 2014 à 2018, bien qu'une légère diminution soit observée à partir de 2018 à cause de l'augmentation de la fréquence d'apparition des sécheresses estivales (Tableau 1).

Tableau 1 : Évolution des niveaux d'autonomie massique à l'échelle de la ration, des fourrages et des concentrés pour les exploitations bovins lait, viande et ovins viande de 2014 à 2018 (Source : Dispositif INOSYS-réseaux d'élevage, 2019b)

<i>Ration</i>	2014	2015	2016	2017	2018
Moyenne	87	86	87	87	86
Médiane	89	88	89	87,5	87
Écart-type	8,9	9,4	9,2	7,9	8,2
<i>Fourrages</i>	2014	2015	2016	2017	2018
Moyenne	97	95	96	96	95
Médiane	100	99	100	100	98
Écart-type	5,7	7,3	7,4	6	6,2
<i>Concentrés</i>	2014	2015	2016	2017	2018
Moyenne	32	33	31	33	32
Médiane	28	31,5	28,5	30	27,5
Écart-type	29,5	28	27,7	28,4	28

Tableau 2 : Autonomie massique des élevages laitiers dans la région Grand-Est sur la période 2014-2018 (Source : Dispositif INOSYS- Réseaux d'Élevages, 2019b)

Système bovin lait de la région Grand-Est(%)	Ration	Fourrages	Concentrés
Lait Herbager	89	97	38
Lait Maïs	86	97	29
Lait Céréalié	82	95	22
Lait (moyenne)	86	96,5	29



Figure 6 : Présentation des légumineuses à graines en fonction de leur taux de protéines (Source : Terre Univia)

Le constat est similaire pour les élevages bovins laitiers de la région Grand Est. Ils ont une meilleure autonomie massique que les élevages bovins laitiers à l'échelle nationale (Dispositif INOSYS-réseaux d'élevage, 2019b). Néanmoins, il y a un faible niveau d'autonomie massique en concentrés dans les élevages bovins laitiers (29 % en moyenne) allant de 38 % pour le système lait à l'herbe à 22 % pour le système lait céréalier (Tableau 2). Ce faible niveau d'autonomie concerne principalement les ressources protéiques. En effet, l'autonomie protéique en concentrés des systèmes laitiers (hors AB) du Grand Est ne s'élève qu'à 13 % en moyenne, tendance que l'on observe également à l'échelle nationale (Rouillé *et al.*, 2014 en élevage bovin ; Paccard *et al.*, 2003 en élevage laitier).

Dans ce contexte, il semble nécessaire pour les élevages de la région Grand-Est de s'adapter et de trouver des leviers pour améliorer leur autonomie protéique, notamment celle des concentrés.

C. Les leviers d'action pour améliorer l'autonomie protéique en concentrés.

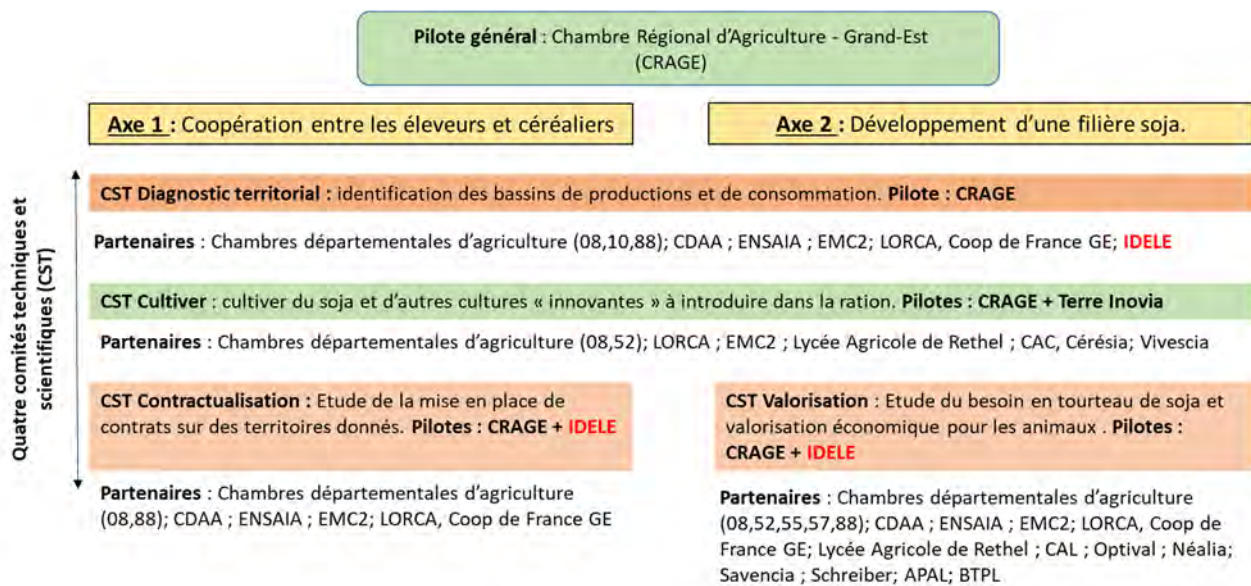
Les leviers d'action à mettre en place pour améliorer l'autonomie protéique en concentrés peuvent être raisonnés à l'échelle nationale, régionale et de l'exploitation.

A l'échelle nationale, le plan de relance protéine 2020 vise un accroissement de 50 % des surfaces en légumineuses et oléo-protéagineux à destination de l'alimentation animale à l'horizon 2030. L'introduction de légumineuses et d'oléo-protéagineux dans l'assolement des exploitations est une des solutions envisagées. Elles concernent notamment les exploitations céréalières et/ou en polyculture-élevage. Ces derniers pourront auto-consommer ces MRP ou les vendre à d'autres éleveurs (ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, 2020).

Le projet ARPEEGE à l'échelle de la région s'inscrit dans la même dynamique que le plan de relance protéines. Son ambition est d'accroître la production des ressources énergétiques et protéiques à l'échelle de la région en proposant de nouvelles alternatives. Ce projet souhaite également rapprocher les intérêts des éleveurs et des céréaliers au sein d'un cercle vertueux de production et d'utilisation des protéines végétales. Les ressources protéiques étudiées sont les oléo-protéagineux et fourrages riches en protéines (ex : luzerne) (Figure 6).

A l'échelle de l'exploitation, l'introduction d'oléo-protéagineux comme le soja présente de nombreux atouts agronomiques : ce sont notamment de très bons précédents culturaux par leur capacité à fixer l'azote atmosphérique dans le sol (Terre Inovia, 2019).

Un groupe de travail s'est formé pour travailler plus spécifiquement sur la culture et la valorisation du soja.



Durée : Septembre 2019-septembre 2022

Figure 7 : Schéma de l'organisation des différents comités techniques et scientifiques (CST) du projet ARPEEGE.



Figure 8 : Évolution de la surface de soja cultivé en France (Source : Terre Univia, 2018)

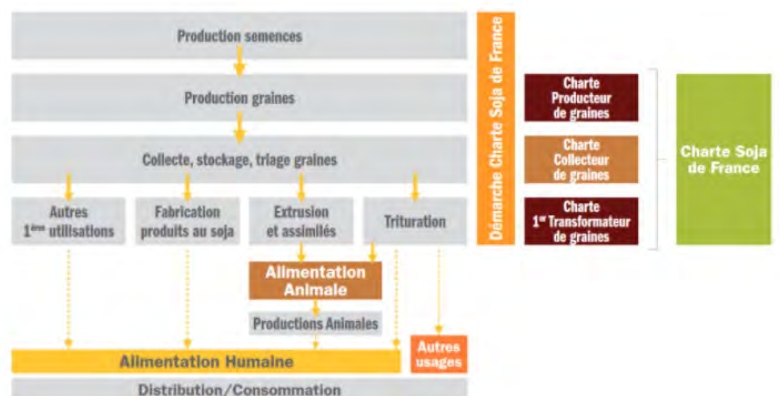


Figure 9 : Organisation de la filière soja par la Charte Soja de France (Source : Terre Univia, 2018)

Territoire	Surface favorable	Surface possible	Surface aléatoire	Surface déconseillé
Ardennes	60 859	7 166	379	138 644
Aube	0	16 527	120 230	242 607
Marne	1 034	148 415	53 784	353 130
Haute-Marne	32 250	68 715	107 199	15 707
Meurthe-et-Moselle	13 724	72 080	103 186	23 410
Meuse	22 301	110 755	124 152	1 371
Moselle	585	56 947	120 765	61 039
Vosges	18 333	74 048	27 021	0
Champagne + Lorraine	149 087	554 653	656 717	835 908

Figure 10 : Estimation de la surface susceptible de recevoir du soja par département et par catégorie de faisabilité (Source : Baillet, 2021)

III. La culture de soja

L'implantation de la culture de soja a connu un fort développement ces quatre dernières années. La surface a été multipliée par quatre sur la période 2014-2018, où elle est passée de 37 000 à 154 000 Ha au niveau national (Figure 10). Sur la même période, à l'échelle de la région Grand-Est, la superficie est passée de 2 200 Ha à 11 000 Ha dont plus de la moitié en Alsace (Agreste, 2015 ; Agreste 2020).

A. Le développement de la filière soja en France et dans le Grand Est

Depuis 2018, l'interprofession de la filière oléo-protéagineuse (Terre Univia) a développé avec l'ensemble des acteurs la charte soja de France (Figure 11). La finalité de cette charte est de développer la culture de soja en France afin de remplir quatre grands objectifs :

- Produire un soja 100 % français.
- Assurer la traçabilité sur l'ensemble de la filière de la graine de soja.
- Produire du soja de façon durable.
- Favoriser la production territoriale et locale du soja.

L'interprofession estime que la superficie pourrait atteindre les 250 000 Ha de soja cultivés en France à l'horizon 2025. La quantité produite permettrait ainsi de couvrir l'ensemble des importations des tourteaux de soja non OGM estimés aujourd'hui à 450 000 tonnes par an, avec un potentiel de production de 600 000 T de soja produit (Terre Univia, 2018).

B. La région Grand-Est, un potentiel de production pour la culture de soja

A l'échelle régionale, il existe un potentiel de production. Une modélisation réalisée à partir de données pédoclimatiques a montré que sur la région Grand-Est (hors Alsace) 149 000 ha sont jugés favorables à l'implantation de la culture dont plus de 60 000 ha dans le département des Ardennes et 32 000 ha pour la Haute-Marne (Figure 12). 554 000 hectares sont catégorisés comme une surface possible pour accueillir du soja mais présentent soit un risque de stress hydrique « moyen » soit un sol superficiel à plus de 50 %. Au contraire, 650 000 Ha sont classés comme aléatoires et 835 000 Ha comme déconseillés. (Baillet, 2021).

La région Grand-Est dispose d'un contexte pédoclimatique favorable à l'implantation de la culture de soja et donc d'un potentiel pour accroître l'autonomie en concentrés protéiques des élevages de la région. Les graines produites en Région Grand-Est peuvent être valorisées sous différentes formes par les ruminants (graines crues, toastées, extrudées ou en tourteaux). L'utilisation de tourteau de soja est aujourd'hui bien connue par les acteurs de terrain. Or, la production d'un tourteau de soja local nécessiterait un site industriel de trituration qui n'existe pas aujourd'hui. C'est pourquoi, le projet ARPEEGE s'intéresse à la valorisation de graines de soja dans la ration des vaches laitières.

IV. Les différentes formes de valorisation du soja en élevage et leurs caractéristiques

Le rapport se portera dans un premier temps sur les performances zootechniques suite à l'introduction de graine de soja crues puis sur la graine de soja toastées dans la ration des vaches laitières afin de comprendre l'intérêt du traitement thermique.

A. L'incorporation de la graine de soja crue dans la ration et ses limites

1. Le seuil d'incorporation des graines de soja crues.

L'incorporation de graines de soja crues dans l'alimentation de la vache laitière a été étudiée par Legarto et Beaumont en 2006 sur une base d'ensilage de maïs. Au cours de leurs essais, plusieurs niveaux d'incorporation de graines de soja crues aplaties ont été apportées aux vaches laitières (2 kg/VL/j, 4 kg kg/VL/j et 6 kg/VL/j). Les meilleures performances zootechniques ont été obtenues pour un niveau d'incorporation de 2 kg/VL/j. Il s'agit de la modalité associée à la meilleure production laitière par rapport au lot témoin (hausse de +3 à +7 %). La baisse de taux butyreux est également plus limitée (de -0,5 à -1,2 g/L) par rapport à une incorporation de 4 kg ou 6 kg où la perte de TB a été de -3 g/L. Le taux protéique n'a quant à lui pas été impacté. Une meilleure reprise d'état a également été observée pour un apport de 2 kg/VL/j. L'incorporation de niveaux supérieurs (4 ou 6 kg) ne permet pas l'obtention de meilleurs résultats. Le seuil optimal d'incorporation de graines de soja crues se situe dans cet essai autour de 2 kg/VL/j. Les graines contiennent des taux de matière grasse importants (23 %), ce qui peut nuire aux performances des vaches laitières. En effet, il est conseillé de ne pas dépasser le seuil de 5 % de matière grasse dans la ration des vaches laitières (Cetiom, 2003).

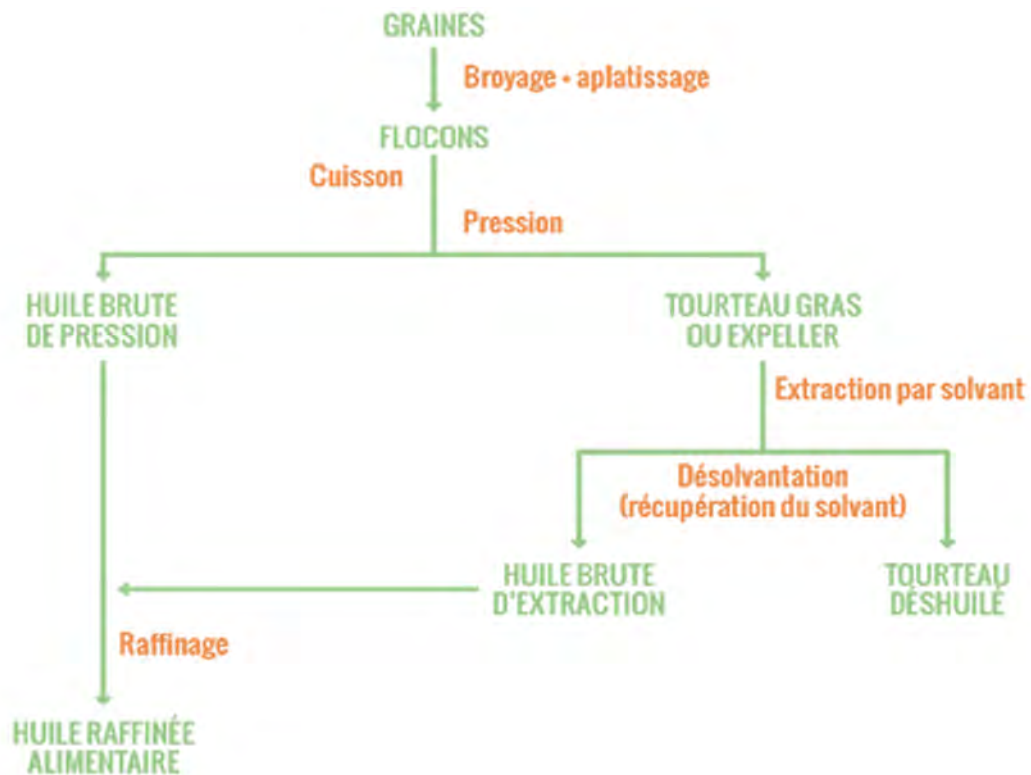


Figure 11: Schéma représentant les étapes du processus de trituration des graines d'oléo-protéagineux (Source : Terre Univia)

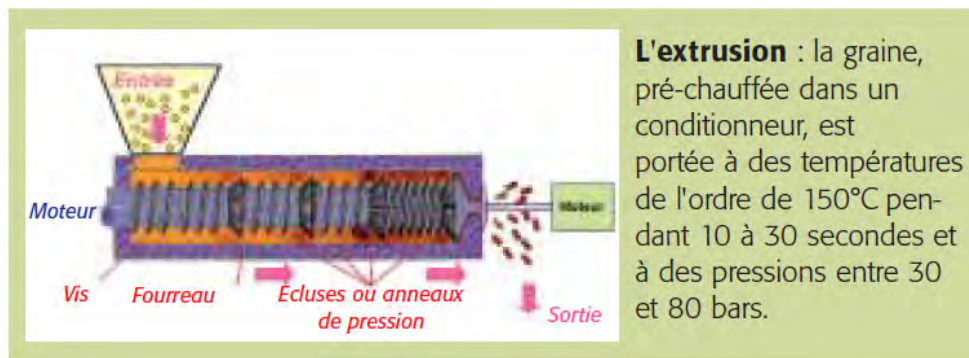


Figure 12 : Schéma représentant le processus d'extrusion des graines d'oléo-protéagineux (Source : Cétiom)

2. Les limites d'utilisation des graines de soja crues

Les protéines de la graine de soja crue sont fortement dégradables dans le rumen, ce qui peut induire une baisse de l'efficacité de l'azote (Poncet *et al.*, 2003). Les graines de soja peuvent également avoir des facteurs antinutritionnels (FAN) (comportant des FAT) qui inhibent l'action des enzymes digestives des protéines. Deux principaux inhibiteurs sont présents dans le soja : les inhibiteurs de Kunitz et de Bowman-kirtz (Berger *et al.*, 2015). Ces inhibiteurs vont se fixer sur les protéases trypsines et chymotrypsine à l'origine de la dégradation des protéines en acides aminés et limiter leur action. La graine de soja crue présente également de l'uréase qui peut conduire à une intoxication ammoniacale (Macera, 2017). Les monogastriques et les jeunes ruminants sont principalement concernés (Quinsac *et al.*, 2012). La désactivation des FAN peut être réalisée par des traitements thermiques.

B. Les traitements des graines de soja

Il existe plusieurs types de processus appliqués aux graines de soja afin de réduire les FAT et également le taux de MG de la graine :

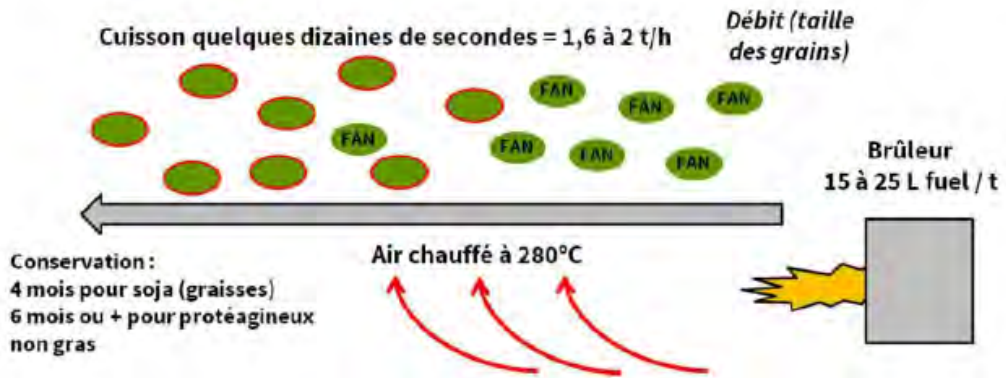
- Avec déshuilage total, il existe l'expansion par un solvant (Figure 13). Le produit principal est l'huile et un coproduit est obtenu qui est tourteau de type industriel avec un taux de matière grasse faible (<2%) et une forte teneur en protéines.
- Avec déshuilage partiel, il existe l'extrusion-pressage ou cuisson-pressage. Les coproduits obtenus seront l'huile et un tourteau gras avec un taux de matière grasse autour de 6 à 8%.
- Sans déshuilage, il existe le toastage ou l'extrusion (Figure 14). Les graines vont garder un taux de matière grasse autour de 18%-20% et une teneur en protéines identique à la graine.

C. Focus sur le toastage des graines

1. Le processus de toastage.

Le toastage est un processus au cours duquel les graines de soja crues entières vont être chauffées à haute température, l'objectif étant d'atteindre 100 degrés au cœur de la graine. Pour ce faire, les graines vont atteindre un caisson à fond mouvant performé où de l'air chauffé par un bruleur est insufflé (Figure 15). Le couple temps/durée de toastage a une incidence sur la digestibilité des protéines. Ce processus permet la cuisson rapide des graines de soja sans qu'elles ne brûlent grâce au débit d'air qui les maintient en mouvement. Cette opération peut

durer plusieurs dizaines de secondes. A la sortie, les graines de soja sont à 120°C et doivent refroidir (Macera, 2017).



FAN : facteur antinutritionnels

Figure 13: Schéma du processus de toastage (Source : GRAPEA85 repris par Jurquet et al., 2018)

Tableau 3: Comparaison des valeurs alimentaires de la graine de soja crue et toasté. (Source : Macera, 2017)

	Soja cru	Soja toasté	Unité
MS	87	95	%
UFL	1,12	1,39	/kg brut
PDIN	203	254	g/kg brut
PDIE	63	167	
PDIA	21	126	
MAT	350	376	
MG	180	200	

2. Les effets bénéfiques du toastage sur la graine de soja

a) *Une hausse de la digestibilité de la graine de soja*

Le toastage confère une protection à la graine qui limite la dégradation des protéines dans le rumen de l'animal et facilite son passage vers l'intestin grêle (Akbarian *et al.*, 2014). Le chauffage entraîne une modification structurale de la protéine par la formation de liaisons entre les acides aminés libres et les sucres réducteurs de la graine d'oléo-protéagineux (réaction de Maillard). Cette modification induit une baisse de la solubilité et de l'accessibilité des protéines aux enzymes bactériennes du rumen (Alonzo *et al.*, 2000). Le toastage augmente ainsi l'effet by-pass des protéines issues des graines soja (Macera, 2017).

Le toastage permet également d'éliminer les FAT qui sont thermolabiles. Une forte baisse de l'activité de l'uréase a aussi été mesurée après le toastage (Macera, 2017).

b) *Les effets du toastage sur la valeur alimentaire*

En termes de composition énergétique (exprimée en UFL), la graine de soja toastée présente une valeur similaire à la graine de soja crue (Tableau 3). Le toastage permet d'obtenir des PDI plus élevés et une BPR plus faible que le soja cru.

c) *Une amélioration de la conservation des graines*

Le chauffage des graines à haute température inactive l'ensemble des microorganismes présents dans la graine tels que les bactéries, les champignons. Dans un même temps, il y a une perte en eau et une augmentation de la matière sèche (de 87 % à 95 %). Il en résulte une meilleure conservation de la graine toastée. Le stockage s'effectue sur une durée moyenne de quatre mois pour la graine de soja toastée entière (Macera, 2017).

Tableau 4: Comparaison de résultats d'incorporation de graines de soja crues et toastées sur les performances des vaches laitières issus d'essais internationaux (Source données : Macera, 2017)

Auteur	Production laitière (kg)		Taux butyreux (g/kg)		Taux protéique (g/kg)	
	Soja cru	Soja toasté	Soja cru	Soja toasté	Soja cru	Soja toasté
Pires, et al., 1996	39,6	m : 40,7 (NS) E : 36,4 (NS)	29,8	m : 28,5 (NS) E : 28,7 (NS)	33	m : 30,6 (S) E : 34,5 (NS)
Mogensen et al., 2008	29,1	30,2 (NS)	29,8	30,3 (NS)	36,6	38 (NS)
Akbarian et al., 2014	38,2	39,5(S)	33,1	32,4 (NS)	41,6	41,6 (NS)

m : moulu ; E: entier; NS: non significatif ; S: significatif

Tableau 5 : Résultats issus de l'essai de Chapuis et Demarbaix (2019)

	Lot ration Témoin (tourteau de soja)	Lot ration expérimentale (graine de soja toastée)	Écart ESM	P-value
Lait brut (kg/j)	26,3	28,6	2,3 ±1,25	p<0,01
TB (g/kg)	43,6	42	-1,6 ±1,12	p<0,01
TP (g/kg)	35,2	33,9	-1,3 ±0,67	p<0,05
Urée (mg/L)	297	276	-21 ±1,43	p<0,05

3. L'impact de la graine de soja toastée sur les performances des vaches laitières

De nombreuses études mettent en avant l'absence de différence significative sur les résultats obtenus pour des rations avec des graines de soja toastées par rapport à des graines de soja crues (Mogenson et al., 2008) ou du tourteau de soja (Pires et al., 1996). Cela concerne les variables telles que la production laitière, le taux butyreux et le taux protéique (tableau 4).

Plus récemment en France, l'étude de Chapuis et Demardaix (2020) montre que l'introduction de 2,4 kg de graines de soja toastées n substitution à 1,4 kg de tourteaux de soja 48 entraîne une amélioration de l'apport en UFL et PDIE. Les résultats zootechniques montrent qu'avec l'incorporation de graines de soja toastées, on observe une hausse significative de la production laitière (+ 2,3 kg) mais aussi une baisse du TB (- 1,6 g/kg) et du TP (- 1,3 g/kg). L'ingestion de cette ration est également plus faible (Tableau 5).

V. Reformulation de la problématique

L'importation de graines oléo-protéagineuses riches en protéines en France est historiquement liée à des accords commerciaux. Les effets de ces accords se sont amplifiés et ont abouti à une dépendance alimentaire importante des élevages français en MRP. Cette dépendance est aujourd'hui remise en cause et représente des enjeux économiques, environnementaux et sociétaux auxquels la filière laitière française doit faire face. Pour répondre à tous ces enjeux, l'amélioration de l'autonomie protéique en concentrés est une solution envisagée par le projet GO PEI ARPEEGE à l'échelle de la région Grand-Est. Plus particulièrement, le développement de la culture de soja et sa valorisation locale est la voie étudiée. Dans le protocole expérimental choisi, le soja est apporté aux vaches laitières sous forme de graines toastées et moulues en substitution à du tourteau de colza afin de compléter une ration à base de maïs ensilage et de betterave.

La question qui se pose dans un premier temps est : **Quel est l'effet de l'incorporation dans la ration de graines de soja, toastées localement, sur les performances techniques et économiques des vaches laitières ?**

Tableau 6: Démarche générale de la problématique

Thématique de la recherche : Amélioration de l'autonomie alimentaire protéique des élevages laitiers de la région Grand-Est.
Problème de recherche : Incorporation de graines de soja produites et toastées localement en substitution à du tourteau de colza dans la ration des vaches laitières.

Question de recherche : Quel est l'effet de l'incorporation dans la ration de graines de soja toastées localement sur les performances techniques et économiques des vaches laitières ?

Hypothèse 1 : L'apport de graines de soja toastées dans la ration favorise une amélioration de la production laitière et une baisse de la matière utile du lait.

Hypothèse 2 : L'apport de graines de soja toastées peut impacter l'état physique des animaux.

Hypothèse 3 : Le lot S nourris avec les graines de soja toastées présente une marge alimentaire similaire au lot T nourris uniquement avec du tourteau de colza. Les variations du coût des matières premières protéiques influent sur cette marge.

Matériel

- Ferme du Lycée Agricole de Rethel
- Alimentation : aliments produits de l'exploitation ou achetés dans la région (tourteau de colza, graines de soja toastées)

Méthodes

Lot témoin (n=26 animaux)
 Ration classique du lycée agricole de Rethel

Ration sans Soja

Lot soja (n=26 animaux)
 Ration expérimentale
Ration avec Soja

Réalisation d'un protocole expérimental

- Apport de rations équilibrées en UFL et PDI
- Mesure des performances laitières
- Observation des vaches laitières (NEC, Pesée).
- Calcul des marges alimentaires
- Analyses statistiques des données

L'étude bibliographique a permis d'identifier plusieurs modes de valorisation des graines de soja en élevage laitier. Il n'existe néanmoins pas de références techniques ou économiques de performances laitières obtenues entre des régimes alimentaires contenant des graines de soja toastées et du tourteau de colza en tant que complément protéique dans la ration.

Cette étude bibliographique permet d'aboutir à une reformulation du problème posé : Il n'existe aujourd'hui pas de données sur la valorisation de graines de soja toastées en élevage laitier produites à l'échelle de la région Grand Est. Ces données sont nécessaires pour les partenaires du projet afin de savoir si une complémentation protéique à base de graines de soja toastées présente un avantage technique et économique par rapport à du tourteau de colza. Ces résultats d'essai permettront de formuler des recommandations pratiques aux éleveurs qui souhaiteraient acheter localement des graines de soja toastées. (Tableau 6)

Objectifs :

- **Connaître les performances laitières des vaches laitières complémentées avec des graines de soja toastées dans la ration par rapport à une ration témoin.**
- **Déterminer l'effet de l'incorporation de graines de soja toastées sur l'état corporel des vaches laitières.**
- **Connaître les conséquences des résultats techniques et les effets de variation du coût des matières premières sur la marge alimentaire de chaque lot.**

Hypothèses :

- L'introduction de graines de soja toastée dans la ration favorise la production laitière mais entraîne une baisse du taux butyreux et du taux protéique.
- Les graines de soja toastées peuvent présenter un effet sur les caractéristiques physiques des vaches laitières (NEC, Poids vif).
- La ration composée de graines de soja toastée présente une marge alimentaire similaire à la ration témoin.

I. Matériel et Méthodes

A. Le Matériel expérimental

1. Le dispositif expérimental

L'essai s'est déroulé du 1 février au 30 mars 2021 (neuf semaines) au lycée agricole de Rethel (08). Cette période a été précédée de deux semaines de transition alimentaire du 17 janvier au 1 février et d'une période pré-expérimentale de quatre semaines du 21 décembre au 17 janvier où l'ensemble des animaux ont reçu la ration témoin (tableau 7)

La ferme du lycée agricole de Rethel a un troupeau de 80 vaches laitières avec des vaches de race Holstein (65%) et Jersiaises (35%). Lors de l'essai, le troupeau a été divisé en deux lots équilibrés distincts :

- Un premier lot de vaches reçoit une ration témoin (**lot T**), c'est-à-dire la ration classiquement utilisée dans la ferme du lycée agricole de Rethel en période hivernale. Cette ration ne contient pas de graines de soja toastées et la complémentation protéique se base sur du tourteau de colza et un mélange de coproduits humides locaux (drêches de brasserie et drêche de soja).
- Un deuxième lot de vache reçoit la ration expérimentale (**lot S**) dans laquelle une partie du tourteau de colza est remplacé par des graines de soja toastées.

Les animaux qui ont vèlés au cours de l'essai n'ont pas été intégrés dans l'expérimentation.

2. Les critères d'allotement des animaux

L'allotement a été réalisé à la fin de la période pré-expérimentale à partir de deux contrôles laitiers qui ont eu lieu sur la période du 21 décembre 2020 au 7 janvier 2021. Les vaches ont été mises en blocs (=binômes) de façon à ce que chaque vache soit associée avec une vache de profil similaire. Ces blocs ont été formés à partir de critères classés par ordre de priorité :

- **La race** (Holstein ou Jersiaise) : les deux races n'ont pas le même niveau d'ingestion, ne présentent pas les mêmes caractéristiques laitières etc. Il était donc nécessaire que les blocs soient constitués de deux individus de même race.
- **Le niveau de production laitière.**
- **Le taux butyreux.**
- **Le taux protéique**

Tableau 7 : figure récapitulative du schéma expérimental

	Période pré-expérimentale	Transition alimentaire	Période expérimentale
Durée (semaines)	21 décembre au 10 janvier (3)	11 au 24 janvier (2)	25 janvier au 28 mars (9)
Lot T	Ration témoin	Ration témoin	Ration témoin
Lot S	Ration témoin	Transition vers la ration expérimentale	Ration expérimentale avec des graines de soja toastées

Tableau 8: mise en lot des animaux

primipare	Holstein		Jersiaise	
	lot T (témoin)	Lot S (expé)	lot T (témoin)	Lot S (expé)
effectif	5,00	5,00	2,00	2,00
rang moyen de lactation	1	1	1	1
date vêlage (j)	16/08/2020	04/08/2020	31/08/2020	08/09/2020
lait brut (kg/j)	25,26	25,4	15,6	16,2
TB (g/kg)	37,52	37,62	57,6	56,5
TP (g/kg)	32,79	32,78	39,6	37,9

Multipares	Holstein		Jersiaise	
	lot T (témoin)	Lot S (expé)	lot T (témoin)	Lot S (expé)
effectif	11	11	10	10
rang moyen de lactation	2,9	2,8	2,6	2,3
date vêlage (j)	09/09/2020	27/09/2020	17/10/2020	12/10/2020
lait brut (kg/j)	33,0	32,7	19,7	19,9
TB (g/kg)	38,0	39,5	53,7	53,5
TP (g/kg)	32,4	32,2	39,3	39,6

Tableau 9: Présentation de l'ingestion théorique par aliment des différentes rations de l'essai.

Le taux Ingestion théorique par Aliment (%)	Ration pré-expérimentale	Ration Témoin	Ration expérimentale
Betteraves fourragères	9	9	9
Mélange de coproduits	34	34	34
Ensilage de maïs ensilage	22	22	23
Foin prairie naturelle	8	8	8
Rumiluz	8	8	8
Tourteau de colza	11 (2,8kg brut)	11 (2,8kg brut)	5 (1,4 kg brut)
VL18	7 (1,5kg brut)	7 (1,5kg brut)	7 (1,5kg brut)
Graine de soja toastée	0	0	5 (1,1 kg brut)
Orge	0	0	0
Urée	0,1 (0,03 kg brut)	0,1 (0,03 kg brut)	0,2 (0,04 kg brut)
Minéral	1 (0,2 kg brut)	1 (0,2 kg brut)	1 (0,2 kg brut)
Bicarbonate	1 (0,2 kg brut)	1 (0,2 kg brut)	1 (0,2kg brut)

- **La parité** : primipares, 2^{ème} vêlage, \geq 3^{ème} vêlage, Il est considéré que les vaches laitières atteignent leur potentiel de production à partir de leur troisième lactation. Il est donc conseillé d'associer les vaches par parité.

- **Le stade de lactation.**

La phase pré-expérimentale a abouti à la création de 28 blocs d'animaux (tableau 8). Chaque individu d'un même bloc a ensuite été mis dans un des deux lots de manière aléatoire par tirage au sort. Au total, 16 binômes de race Holstein ont été formés et 12 de race Jersiaise.

B. L'alimentation

La composition des rations est décrite dans les tableaux 9 et 10. L'autonomie massique de la ration témoin est de 72 % contre 77 % pour la ration expérimentale.

1. Les fourrages

Les fourrages sont tous autoproduits sur l'exploitation et ils sont issus de la récolte 2020. Les fourrages autoproduits et directement valorisables sur l'exploitation sont : l'ensilage de maïs, les betteraves fourragères, le foin de prairies permanentes. Des fourrages sont obtenus suite à un travail à façon par des entreprises locales. C'est le cas, du foin de luzerne transformé en « rumiluz » et de la pulpe de betterave surpressée qui est un coproduit des betteraves sucrières de l'exploitation.

2. Les concentrés

Les concentrés sont en partie produits sur l'exploitation : c'est le cas de l'orge qui est introduite dans le mélange de coproduits (tableau 9). Les concentrés protéiques comme la drêche de brasserie, les drêches de soja, le citrofeed (cf partie 3. Focus sur le mélange de coproduits) ainsi que le tourteau de colza et les graines de soja toastées ont été achetés. De la farine de maïs et un aliment de production de type VL18 sont achetés. La VL18 est distribuée au DAC et la complémentation est adaptée selon la race de l'animal et son niveau de production.

3. Focus sur le mélange de coproduits

Les coproduits humides (drêches de brasserie et de soja, pulpes de betteraves surpressées) ont été mélangés avec des aliments secs (citrafeed, tourteau de colza et orge). La composition du mélange est la suivante : 15 % de drêche de brasserie, 13 % de drêche de soja, 15 % d'orge, 15 % de farine de maïs, 29 % de tourteau de colza et 14 % de citrofeed. L'intérêt

est d'améliorer la conservation des coproduits humides et de faciliter l'organisation du travail pour l'alimentation des animaux. Un seul silo regroupe différents aliments.

Tableau 10: Apports nutritionnels des rations de l'essai.

Densité de ration	Ration pré-expérimentale	Ration Témoin	Ration expérimentale
UFL/kg MS	0,91	0,91	0,93
PDIN/UFL (g)	103	103	103
PDIE/UFL (g)	103	103	105
MG (g/kg MS)	25	25	33
Lysine Digestible (%PDI)	6,70	6,70	6,70
Méthionine Digestible (%PDI)	2,08	2,08	2,03

Tableau 11 : Composition et valeur alimentaire des fourrages de la ration.

Fourrages	Mélange de coproduits	Maïs ensilage	Rumiluz	Betterave fourragère	Foin
MS (%)	30,9	36,1	85,8	15,7	87,5
MM (g/kg MS)	65	30	70	36	68
MAT (g/kg MS)	163	69	140	43	57
AMI (g/kg MS)	202	332	NA	NA	NA
CB (g/kg MS)	175	214	275	46	348
MG (g/kg MS)	NA	23,9	NA	NA	NA
DCs (%)	NA	70,4	55	NA	42,1
P (g/kg MS)	4,2	1,5	1,6	1,4	1,7
Ca (g/kg MS)	11,2	2,5	15,2	2,1	5,4
Valeur calculée					
DMO (%)	NA	72,3	51,4	89,8	54,6
NDF (g/kg MS)	NA	468	499	NA	623
ADF (g/kg MS)	NA	235	337	NA	374
UFL (/kg MS)	1,0	0,9	0,7	1,2	0,7
PDIA (g/kg MS)	51	11	28	5	18
PDIN (g/kg MS)	104	42	91	25	36
PDIE (g/kg MS)	107	68	83	83	68

Tableau 12: Composition et valeur alimentaire des concentrés de la ration.

Concentrés	Tourteau de colza	Graine de soja toastées
MS (%)	88,1	94,6
MM (g/kg MS)	135,3	60
MAT (g/kg MS)	426	387
CB (g/kg MS)	135,3	77,8
MG (g/kg MS)	29,3	227,2
P (g/kg MS)	10	6,8
Ca (g/kg MS)	8,7	3,2
DE1	30	22
Valeur calculée		
dMO (%)	77,3	80,9
UFL (/kg MS)	0,96	1,28
PDIN (g/kg MS)	243	261
PDIE (g/kg MS)	148	210
PDIA (g/kg MS)	76	91

C. Les Contrôles et analyses

1. La période pré-expérimentale

a) *Caractéristiques des aliments*

Au cours de la période pré-expérimentale, une analyse chimique de la composition des fourrages et des concentrés a été réalisée. Cette analyse a permis d'obtenir la valeur alimentaire de chaque aliment et d'en déduire les apports nutritionnels de la ration (tableau 10).

- **Les fourrages :**

Pour l'ensilage de maïs, le rumiluz, le foin de prairie permanente et les betteraves fourragères, des analyses chimiques ont été réalisées pour obtenir les données suivantes : la Matière Sèche (MS), la Matière Minérale (MM), la Matière Azotée Totale (MAT), la Cellulose Brute (CB), la Matière Grasse (MG), l'Amidon, le Phosphore (P), le Calcium (Ca) et la digestibilité enzymatique de la Matière Organique de chaque aliment.

- **Les concentrés :**

Les tourteaux de colza et les graines de soja toastées ont également été analysés une fois au cours de la période pré-expérimentale selon les critères suivants : MS, MM, MAT, CB, P, Ca auxquels s'ajoutent DCellMO (Digestibilité cellulase de la MO de l'aliment concentré prélevé brut), DE1 (digestibilité enzymatique 1 heure).

Les aliments ont été prélevés par le personnel de l'exploitation agricole de Rethel et ont été analysés au Laboratoire Agronomique de Normandie (LANO). Les valeurs nutritionnelles des concentrés sont récapitulées dans le Tableau 12.

- **Le mélange de coproduits**

Le mélange de coproduits a bénéficié des mêmes analyses auxquelles s'ajoute une analyse de conservation avec pour paramètres à analyser : pH, MS, MAT, Acide acétique et butyrique, azote ammoniacal, rapport N-NH₄/N Total, levures, moisissures et coliformes. Les valeurs nutritionnelles des fourrages sont récapitulées dans le Tableau 11.

b) *Distribution et la pesée de la ration*

La distribution de la ration complète est effectuée une fois par jour par les salariés de l'exploitation à l'aide d'un godet désileur/mélangeur.

Tableau 13: Planning des mesures au cours de la période expérimentale.

Semaine calendrier	Du ... au ...	Ens. maïs	Silo unique	Rumiluz	Foin	Betterave fourragère	Aliments concentrés	Lait	Poids vif	NEC
5	1 au 7 février							X		
6	8 au 14 février	X	X	X	X	X	X	X	X	X
7	15 au 21 février							X		
8	22 au 28 février							X		
9	1 au 7 mars							X		
10	8 au 14 mars							X		
11	15 au 21 mars							X		
12	22 au 28 mars	X	X	X	X	X	X	X	X	X
13	29 mars au 31 mars							X		

X : Pesée du lait réalisée par le stagiaire

2. La période expérimentale

Le planning des mesures est décrit dans le tableau 13.

a) *Les caractéristiques des aliments*

Les analyses de la matière sèche de l'ensilage de maïs et du mélange de coproduits ont été effectués une fois par semaine grâce à une analyse infra-rouge réalisée par un AgriNiR d'ACE. Les prélèvements sont réalisés par le stagiaire et les échantillons transmis au laboratoire par l'organisme Ardennes Conseil Élevage.

En parallèle, deux analyses chimiques ont également été réalisées au cours de cette période pour déterminer la composition chimique et les valeurs alimentaires de l'ensemble des aliments. Les paramètres évalués sont les mêmes que pour la période pré-expérimentale.

b) *La distribution et la pesée de la ration*

La distribution des rations semi-complètes est effectuée une fois par jour, le matin, après que les refus aient été enlevés et pesés. Les rations témoins et expérimentales ont été préparées et pesées quotidiennement.

Chaque matin, le même protocole a été suivi :

- **De 6h30 à 8h** : Peser les refus pour chaque lot.
- **De 8h30 à 10h00** : Distribution du foin à l'auge par les salariés de l'exploitation en parallèle de la traite. Les quantités de foin ingérées sont estimées par lot sur la base d'une mesure réalisée sur la période pré-expérimentale.
- **De 10h30 à 11h** : Distribution de la ration à l'aide du godet mélangeur. La ration étant distribuée par lot, une fiche rédigée par le stagiaire est mise à jour régulièrement (Annexe 2). Les quantités brutes de fourrages sont réajustées selon l'évolution du taux de matière de la ration.

c) *Mesure des performances laitières*

Les performances laitières individuelles des vaches laitières ont été mesurées une fois par semaine au cours d'essai sur deux traites consécutives. Les paramètres mesurés sont : la production laitière (kg), le taux butyreux (TB) (g/kg), le taux protéique (TP) (g/kg), le taux d'urée du lait (mg/L) et les leucocytes (milliers/mL). Les contrôles laitiers sont réalisés soit par le stagiaire, qui a été formé à la pesée, soit par l'organisme Ardennes Conseil Élevage. Les données collectées sont ensuite regroupées sur une base de données réalisée par le stagiaire

Modèle statistique utilisé

$$Y = \underbrace{\text{traitement} + \text{période}}_{\text{Effets fixes}} + \underbrace{\text{bloc} + \text{bloc}(\text{animal}) + \text{bloc} \cdot \text{traitement}}_{\text{Effets aléatoires}}$$

Figure 14 : Modèle statistique utilisé lors du test de covariance.

a) Observation des animaux (NEC, rumination, boiteries) et des évènements sanitaires

La pesée des animaux a été faite à deux reprises : au début de l'essai (11.02.2021) et à la fin de l'essai (25.03.2021). Ces pesées ont été réalisées avec un pèse bovin électronique. Le stagiaire est accompagné d'un technicien spécialisé de l'organisme Ardennes Conseil Élevage. Les Notes d'État Corporel (NEC) (Annexe 3) sont mesurées par le stagiaire le lendemain de chaque pesée (le 12.02.2021 et le 26.03.2021).

Une observation quotidienne des animaux au cours de la traite du soir est effectuée pour relever tout événement sanitaire ou comportemental anormal pouvant expliquer une modification des résultats d'un individu pendant l'essai.

D. Le traitement des données

Le traitement des données est réalisé par le stagiaire en lien étroit avec le service Data'Stat de l'Institut de l'Élevage. Les résultats de performances laitières (PL, TB, TP, MG, Urée et comptages cellulaires) et les résultats d'ingestion de la ration apportée à l'auge ont été analysés de manière indépendante. Une analyse descriptive de chaque variable suivie par une analyse de variance et de covariance a été réalisée. Les analyses statistiques ont été réalisées sur le logiciel R et les résultats ont été donnés au seuil de 5%.

Les variables de la période expérimentale ont été analysées par covariance à partir du modèle mixte sur la Figure 16.

Deux binômes de vaches laitières ont été supprimés de l'analyse car une des vaches a eu un incident sanitaire (mammite) entraînant une baisse forte de production laitière, non imputable au traitement alimentaire.

Tableau 14: Caractéristiques de la production laitière, du taux butyreux et du taux protéique des lots expérimentaux formés.

Production laitière (kg)	Lot Soja	Lot témoin
Primipares	22,8 (± 5,3)	22,6 (± 6,0)
Multipares	27,2 (± 8,0)	27,5 (± 9,0)
Lot	26,0 (± 7,5)	26,1 (± 8,5)
Taux butyreux (g/kg)	Lot Soja	Lot témoin
Primipares	43,0 (± 10,5)	42,7(± 10,3)
Multipares	43,8 (± 9,3)	44,4(± 10,6)
Lot	43,6 (± 9,5)	44,1 (±10,4)
Taux protéique (g/kg)	Lot Soja	Lot témoin
Primipares	34,2 (± 4,0)	34,3 (± 4,2)
Multipares	35,1 (± 4,3)	35,4 (± 4,1)
Lot	34,9 (± 4,1)	35,2(± 4,0)

Tableau 15: Ingestion quotidienne moyenne des aliments par lot.

Ingestion par aliment par jour		Lot soja	Lot témoin
Pollen (produit exploitation)	kgMS	5,3	5,4
Pollen (produit hors exploitation)		1,7	1,7
Maïs ensilage		4,8	4,9
Rumiluz		1,6	1,6
Foin		1,7	1,7
Betteraves		1,4	1,4
Tourteau de colza	KgMB	1,4	2,8
Soja toasté		1,1	/
Urée		0,04	0,03
Bicarbonate		0,2	0,2
Minéral		0,2	0,2
Sel		0,03	0,03
VL18		1,5	1,5

Tableau 16 : Statistiques descriptives de l'ingestion par lot sur l'essai

ingestion_moyenne_vl (kgMS/vl)	N	min	moyenne	mediane	max	etendue	ecart-type
Lot soja période expérimentale	26	15,8	20,3	20,1	24,1	8,3	1,6
Lot témoin période expérimentale	26	17,1	20,7	21,0	23,1	6,0	1,2

II. Les résultats

A. Les résultats techniques

1. Des groupes homogènes à la mise en lot

Les performances laitières des lots formés sont synthétisées dans le tableau 14. L'ensemble des tests statistiques réalisés sur les critères de mises en lot (Annexe 4) montrent que les deux lots formés sont bien homogènes entre eux. Tout d'abord, en termes de production laitière, le lot témoin produit 26,1 kg de lait contre 26,0 kg pour le lot soja. Il n'y a aucune différence significative entre ces deux groupes (p -value = 0,98). Il existe un effet statistique de la race pour ces variables, les Jersiaises produisant + 17,0 g/kg de TB en plus que les Holstein et + 6,5 g/kg de TP. La race était le premier critère pour l'appariement des animaux. Les deux lots ont également un jour moyen de lactation similaire.

2. Les ingestions des animaux

Au cours de l'essai, les ingestions ont été calculées par lot grâce aux pesées quotidiennes de la ration distribuée et des refus (Tableau 15). On observe une variation de l'ingestion pour les deux lots sur la période expérimentale (Annexe 5.1).

Les vaches laitières du lot T ont des ingestions légèrement supérieures au lot S. Sur les neuf semaines de l'essai, l'ingestion moyenne du lot témoin est de 20,7 kg MS contre 20,3 kg MS pour le lot S (complémentation au DAC comprise) (Tableau 16). La différence d'ingestion de 0,4 kgMS n'est cependant pas statistiquement significative (P -value=0,23). Il n'y a donc pas de différence d'ingestion entre les deux lots.

Tableau 17 : Statistiques descriptives de la variable production laitière

Production laitière moyenne (kg/vl/j)		N	min	moyenne	médiane	max	étendue	écart-type
période expérimentale	Lot ration soja	26	14,6	25,5	23,9	39,7	25,1	6,9
	Lot ration témoin	26	13,9	26,8	25,7	46,9	33,0	9,0

Tableau 18 : Analyse de covariance de la production laitière

Traitement	P-value	Valeur estimée	Erreur Type
Lot soja	0,25	23,2	1,2
Lot témoin		24,1	1,2

Tableau 19: Statistiques descriptives de la variable taux butyreux

Taux butyreux moyen par vache laitière (g/kg)		N	min	moyenne	médiane	max	étendue	écart-type
période expérimentale	Lot ration soja	26	26,7	43,0	39,9	63,8	37,1	11,3
	Lot ration témoin	26	24,4	44,4	41,3	64,0	39,6	11,7

Tableau 20: Analyse de covariance du taux butyreux

Traitement	P-value	Valeur estimée	Erreur Type
Lot soja	0,39	46,1	1,2
Lot témoin		47,0	1,2

Tableau 21 : Statistiques descriptives du taux protéique

Taux protéique moyen par vache laitière (g/kg)		N	min	moyenne	médiane	max	étendue	écart-type
période expérimentale	Lot ration soja	26	29,2	34,2	33,7	40,5	11,3	3,4
	Lot ration témoin	26	28,3	36,2	35,4	45,4	17,0	5,0

Tableau 22: Analyse de covariance du taux protéique

Traitement	P-value	Valeur estimée	Erreur Type
Lot soja	<0,001	35,2	0,5
Lot témoin		37,1	0,5

3. Les performances laitières par lot

a) *La production laitière*

Les variations de la production laitière sont observables sur l'Annexe 6.2. Le tableau 17 représente les valeurs descriptives retenues pour l'analyse de covariance.

La production laitière du lot T (24,1 kg/VL/j) est supérieure à celle du lot S (23,2 kg/VL/j) de l'ordre de + 0,9 kg/VL/j (Tableau 18). Cette différence de production n'est pas significative (p-value=0,25). Des effets de la race et de la parité ont néanmoins été observés. Les Holstein produisent 11,4 kg de plus que les jersiaises (p-value<0,0001) tandis que les multipares produisent significativement plus de lait que les primipares (p-value =0,036). Par comparaison avec les performances laitières obtenues lors de la période pré-expérimentale, il y a une hausse de production laitière pour le lot T (+ 0,6 kg/VL/j) et une baisse pour le lot S (- 0,4 kg/VL/j).

b) *Le taux butyreux*

Des variations de TB sont visibles tout au long de la période expérimentale (Annexe 6.3). Le Tableau 19 représente les valeurs descriptives retenues pour l'analyse de covariance.

Sur la période expérimentale, le taux butyreux moyen du lait du lot T (47,0 g/kg) est supérieur à celui du lot S (46,1 g/kg) (Tableau 20). Cette différence de -0,9 g/kg de TB n'est pas statistiquement significative (p-value = 0,37). Un effet de la race a été observé pour cette variable : les Jersiaises ont un taux butyreux supérieur de + 21,2 g/kg à celui des Holstein (p-value <0,001).

c) *Le taux protéique*

Le taux protéique des deux lots suit une même tendance et augmente au cours de la période expérimentale (+ 0,9 g/kg pour le lot T et + 0,7 g/kg pour le lot S par rapport à la période pré-expérimentale) (Annexe 6.4). Le Tableau 21 représente les valeurs descriptives retenues pour l'analyse de covariance.

Sur la période expérimentale, le taux protéique pour le lot T (37,1 g/kg) est significativement supérieur de +1,9 g/kg à la moyenne du lot S (35,2 g/kg) (Tableau 22). En moyenne, les Jersiaises ont produit 7,2 g/kg supplémentaire par rapport aux Holstein.

Tableau 23: Statistiques descriptives de la matière grasse du lait

Matiere Grasse moyenne du lait (g/VL/j)	N	min	moyenne	médiane	max	étendue	écart-type	
période expérimentale	Lot ration soja	26	820	1040	981	1652	832	200
	Lot ration témoin	26	836	1107	1074	1579	743	218

Tableau 24: Analyse de covariance de la matière grasse du lait.

Traitement	P-value	Valeur estimée	Erreur Type
Ration soja	0,14	1002	44,1
Ration témoin		1057	44,1

Tableau 25: Analyse descriptive de la matière protéique du lait

Matiere Protéique moyenne du lait (g/VL/j)	N	min	moyenne	médiane	max	étendue	écart-type	
période expérimentale	Lot ration soja	26	518	855	823	1191	674	169
	Lot ration témoin	26	631	935	878	1377	745	224

Tableau 26: Analyse de covariance de la matière protéique du lait.

Traitement	P-value	Valeur estimée	Erreur Type
Ration soja	0,017	800	33
Ration témoin		861	33

Des effets d'interaction ont également été mis en évidence entre le lot et la période ; la race et la période. Les jersiaises du lot T produisent un taux protéique plus élevé (+3,4 g/kg ; p-value<0,0001) que celle du lot S. A chaque contrôle, le lot T a produit un TP supérieur à celui du lot S (p-value=0,037).

d) La matière grasse

La quantité de matière grasse (MG) du lait a globalement diminué entre le début et la fin de l'essai (Annexe 6.5). Le tableau 23 représente les valeurs descriptives retenues pour l'analyse de covariance.

Sur la période expérimentale, le lot T a produit plus de MG dans le lait (1057 g/j) que le lot S (1002 g/j), soit une différence de 55 g/j de MG (Tableau 24). Il n'y a pas de différence significative de production de MG entre les deux lots (p-value = 0,14). Il ressort un effet significatif de la parité sur la MG du lait : les multipares produisent 178 g/j de MG de plus que les primipares (p-value = 0,37). Un effet significatif de la période s'illustre également par une différence statistique de matière grasse entre le premier et le dernier contrôle effectués (p-value = 0,0005).

e) La matière protéique

Sur l'ensemble de la période, une baisse de la matière protéique du lait a été observée pour les deux lots entre le premier et le dernier contrôle (- 94 g pour le lot T et - 102 g pour le lot S) (Annexe 6.6). Le tableau 25 représente les valeurs descriptives retenues pour l'analyse de covariance.

Sur la période expérimentale, le lot T a produit une quantité de MP significativement supérieure (861 g/j) à celle du lot S (800 g/j), soit une différence significative de -61 g/j entre les deux lots (p-value=0,017) (Tableau 26). Dans un même temps, des effets de la race et de la parité ont été montrés. Les Jersiaises ont produit 242 g/j de matière protéique de moins que les Holstein (p-value = 0,0007) et que les multipares ont produit 158 g/j de matière protéique de plus que les primipares (p-value =0,0168).

Tableau 27: Statistiques descriptives du taux d'urée du lait

Taux d'urée du lait (mg/L/j)		N	min	moyenne	médiane	max	étendue	écart-type
période expérimentale	Lot ration soja	26	149	206	199	282	133	32
	Lot ration témoin	26	170	214	216	266	96	27

Tableau 28: Analyse de covariance du taux d'urée du lait.

Traitement	P-value	Valeur estimée	Erreur Type
Lot soja	0,29	209	6,5
Lot témoin		218	6,5

Tableau 29 : Statistiques descriptives du nombre de leucocytes dans le lait.

Leucocytes du lait logbase10 (milliers/ml)		N	min	moyenne	médiane	max	étendue	écart-type
période expérimentale	Lot ration soja	26	1,22	1,89	1,71	3,20	1,99	0,53
	Lot ration témoin	26	1,17	2,07	1,84	3,62	2,46	0,58

Tableau 29 bis : Analyse de covariance des leucocytes du lait.

Traitement	P-value	Valeur estimée	Erreur Type
Lot soja	0,56	1,85	0,1
Lot témoin		1,90	0,1

Tableau 30 : Statistiques descriptives du poids vif.

Poids vif (kg)		N	min	moyenne	médiane	max	étendue	écart-type
11.02.2021	Lot ration soja	25	362,0	589,0	578,0	810,0	448,0	154,2
	Lot ration témoin	25	391,0	581,5	630,0	776,0	385,0	135,1
25.03.2021	Lot ration soja	25	349,0	581,0	577,0	819,0	470,0	155,0
	Lot ration témoin	25	375,0	576,7	631,0	769,0	394,0	133,2

Tableau 31 : Analyse de variance de l'évolution du poids des vaches laitières par lot.

Traitement	P-value	Valeur estimée	Erreur Type
Lot soja	0,2	-8,46	3,8
Lot témoin		-2,28	3,8

f) Le taux d'urée du lait

Des variations de taux d'urée ont été observées sur la période expérimentale (Annexe 6.7). Le tableau 27 représente les valeurs descriptives retenues pour l'analyse de covariance.

Le taux moyen d'urée dans le lait du lot S est de 209 mg/L et celui du lot T (218 mg/L) ne sont pas statistiquement différents (p -value = 0,29) (Tableau 28). Un effet de la période a été démontré sur le taux d'urée du lait (p -value < 0,0001) et concerne les deux premiers contrôles réalisés qui sont respectivement significativement supérieurs et inférieurs aux autres taux d'urée mesurés. Un effet d'interaction du lot et de la période a également été obtenu. Ainsi, les taux d'urée moyens du lot S sont tous statistiquement identiques ou inférieurs à ceux du lot T à l'exception du troisième contrôle laitier réalisé.

g) Les leucocytes

Les courbes représentatives de la teneur moyenne en leucocytes montrent des variations similaires de la teneur en cellules pour les deux lots (Annexe 6.8). Le Tableau 29 représente les valeurs descriptives retenues pour l'analyse de covariance.

Sur la période expérimentale, le lot S produit un lait contenant moins de cellules que le lot T (Tableau 29 bis). Il n'y a pas de différence statistique du nombre de cellules entre chaque lot.

4. L'évolution physique des vaches laitières par lot

a) Aucun effet significatif de la ration sur l'évolution du poids vif

Le poids vif des vaches laitières a diminué entre la pesée réalisée en début d'expérimentation et celle réalisée à la fin (Tableau 30). Le poids moyen du lot S initialement de 589 kg a diminué de huit kilogrammes tandis que celui du lot T initialement de 582 kg a diminué de 4,8kg.

Cette évolution du poids vif moyen des animaux n'a pas été impactée par l'effet du traitement (p -value = 0,20) (Tableau 31). Elle s'explique par une diminution du mois moyen de lactation entre le début et l'essai et la fin.

Tableau 31: Statistiques descriptives de la NEC

Note d'État Corporel (NEC)		N	min	moyenne	médiane	max	étendue	écart-type
12.02.2021	Lot ration soja	26	0,5	2,6	2,5	4,0	3,5	0,8
	Lot ration témoin	26	1,0	2,1	2,0	3,5	2,5	0,6
26.03.2021	Lot ration soja	26	1,0	2,7	2,5	4,5	3,5	0,8
	Lot ration témoin	26	1,0	2,1	2,0	3,0	2,0	0,6

Tableau 32: Analyse de covariance de la Note d'État Corporel.

Traitement	P-value	Valeur estimée	Erreur Type
Lot soja	0,34	-0,03	0,08
Lot témoin		0,07	0,08

Tableau 33: Comparaison de la marge alimentaire des lots expérimentaux

Marge alimentaire	Lot Soja	Lot témoin
Total lait(€/1000L)	362	374
Coût total alimentation (€/1000L)	134	131
Marge Alimentaire (€/1000L)	228	243
Recette lait par vache par jour (euros)	9,5	9,8
Coût alimentation/vache/jour (euros)	3,5	3,4
Marge alimentaire par vache par jour (euros)	6,0	6,4

b) Aucun effet significatif de la ration sur l'évolution des Notes d'État Corporel (NEC)

Les NEC ont très peu évolué entre le début et la fin d'essai. Les vaches du lot soja avaient une note moyenne de 2,6 lors de la première notation et sont passées à 2,7 (+0,1) pour la seconde. La note des vaches du lot témoin est restée à 2,1 (Tableau 31).

Cette évolution de la NEC moyenne n'a pas été impactée par le traitement (p-value = 0,34) (Tableau 32).

B. La ration à base de graines de soja toastées, des résultats économiques plus faibles

La marge sur coût alimentaire de chaque ration a été calculée à partir des résultats techniques obtenus et ne prenant en compte que les effets statistiquement significatifs. Par la suite, des hypothèses de variation du coût d'achat des correcteurs azotés ont été réalisées à partir d'hypothèses : basses à - 30% (prix selon la conjoncture en 2018, intermédiaires à 15 % et 15% enfin hautes à + 30% (prix selon la conjoncture en mai 2021).

1. La ration composée de graines de soja toastées, une marge alimentaire moins élevée.

Le calcul de la marge sur coût alimentaire été réalisé à partir des résultats de l'essai (Tableau 33). La partie sur les recettes montre que les produits liés à la vente du lait lot T sont supérieurs de 12 €1000 litres par rapport à ceux du lot S. Cela représente un gain de 9,8 €/VL/jour pour les animaux issus du lot T et 9,5 €/VL/jour pour les animaux du lot S soit une différence de 0,3 €/VL/jour.

Le coût alimentaire est moins élevé pour le lot T (131 €1000 litres et 3,4 €/VL/jour) que pour le lot S (134 €1000 litres et 3,5 €/VL/jour), soit une différence de 3€1000 et 10 cts/VL/jour (Tableau 33).

En moyenne sur l'essai, la marge alimentaire du lot T (243 €1000 litres et 6,4 euros/VL/jour) est supérieure de 15 €1000 litres et 40 cts/VL/jour à celle du lot S (228 €1000 litres et 6 euros/VL/jour).

Tableau 34 : Différence entre la marge sur coût alimentaire du lot soja et du lot témoin selon la variation du coût des concentrés protéiques

Variation	Tourteau de colza	-30%	-15%	Coût 2020	15%	30%
Graine de soja toastée	Coût (€/Tbrut)	180	218	257	296	334
-30%	321	-14	-13	-11	-9	-7
-15%	377	-17	-15	-13	-11	-9
Coût 2020	432	-19	-17	-15	-13	-11
15%	487	-21	-19	-17	-15	-13
30%	543	-23	-21	-19	-17	-15

Tableau 35: Différence entre la marge à la vache du lot soja et du lot témoin selon la variation du coût des concentrés protéiques

Variation	Tourteau de colza	-30%	-15%	Coût 2020	15%	30%
Graine de soja toastée	Coût (€/Tbrut)	180	218	257	296	334
-30%	321	-0,4	-0,3	-0,3	-0,2	-0,2
-15%	377	-0,4	-0,4	-0,3	-0,3	-0,2
Coût 2020	432	-0,5	-0,4	-0,4	-0,3	-0,3
15%	487	-0,5	-0,5	-0,4	-0,4	-0,3
30%	543	-0,6	-0,5	-0,5	-0,4	-0,4

2. Des hypothèses de fluctuation des coûts en défaveur de la ration avec des graines de soja toastées.

L'hypothèse d'achat des graines de soja a été testée en faisant évoluer le coût du tourteau de colza et des graines de soja toastées. Les marges sur coût alimentaire aux mille litres et à la vache des deux lots ont été comparées au sein de matrices de gain. Les résultats correspondent aux différences entre les marges du lot S et celles du lot T (Tableau 34 et 35).

Pour toutes les hypothèses de prix réalisées, les différences de marges entre la ration soja et la ration témoin sont systématiquement négatives. Cela signifie que le lot T a des marges alimentaires aux 1000 litres et à la vache supérieure à celles du lot S.

III. Discussion Générale

A. Une ingestion inférieure à l'ingestion théorique

L'ingestion à l'auge des deux lots expérimentaux est inférieure à l'ingestion théorique calculée à partir d'INRA 2007. Plusieurs facteurs peuvent expliquer cette différence d'ingestion. Tout d'abord, il y a eu une vague de froid importante et soudaine au cours de la deuxième semaine d'essai avec des températures comprise entre 0 et - 8°C. Lors de cette semaine l'ingestion a diminué de - 3,0 kg MS pour le lot T et de - 3,1 kg MS pour le lot S. L'optimum thermique de la vache étant largement dépassé (5-15°C), les vaches laitières ont mobilisé de l'énergie pour lutter contre le froid et auraient dû davantage consommer d'aliments (Young, 1981), cela n'a pas été observé. Il n'y a eu un retour à l'ingestion initial que lors de la dernière semaine d'expérimentation.

Sur la globalité de la période, la différence d'ingestion par lot n'est pas explicable par des différences de logements et d'accès à la nourriture car les conditions étaient identiques. De la même manière, le soja toasté est un aliment appétant et il n'est donc pas associé à une baisse d'ingestion par les vaches laitières (Macera, 2017). L'ingestion est calculée par lot car la ferme ne dispose pas d'auge individuelle. Au cours des quatre premières semaines de l'essai, huit vaches fraîches vélées ont été introduites dans le lot S contre sept dans le lot T. Or la capacité d'ingestion d'une vache laitière est directement influencée par le stade de lactation. Les vaches en début de lactation notamment (<10 semaines) ont une moins grande capacité d'ingestion (Faverdin et al., 2006).

B. Les performances laitières

a) *La production laitière*

La différence de production laitière entre les deux lots n'est pas significative. Or, la baisse de production observée sur le lot S (- 1,3 kg/VL/j) ne s'explique pas par la baisse d'ingestion qui équivaut seulement à 0,05 UFL. Dans l'étude de Chapuis et Demarbaix (2019), les vaches laitières complémentées avec des graines de soja toastées produisent significativement plus de lait que des vaches nourries avec du tourteau de soja 48. Les résultats de notre étude ne vont pas dans le même sens.

L'une des hypothèses pour expliquer une plus faible production laitière chez les vaches du lot soja serait la granulométrie de la graine de soja toastée. Dans l'essai, les graines de soja toastées ont été finement broyées. Dans l'étude de Dhiman (1997), la taille de la graine de soja associée à une production laitière optimale est atteinte pour une graine de soja coupée en demie ou en quart. En dessous de cette taille, une légère diminution de la production laitière a été observée. Il ressort dans plusieurs études que l'effet by pass acquis par la graine de soja toastée est perdu lorsque la graine est broyée trop finement (Tice et al., 1993). Cela pourrait être associé à une hausse de la dégradabilité de la graine de soja dans le rumen et à une baisse de disponibilité des protéines dans l'intestin grêle (Dhiman *et al.*, 1997). Les analyses ont montré que le tourteau de colza a une dégradabilité enzymatique moyenne plus élevée (26,1 g/kg MS) que les graines de soja toastées entières (20,9 g/kgMS). Ces valeurs sont cohérentes avec les valeurs de dégradabilité en azote pour du tourteau de colza (69 %), plus élevées que la dégradabilité en azote de la graine de soja toastée entière (64 %) (Tables INRA, 2018). L'hypothèse que la dégradabilité de la graine de soja toastée ait augmenté avec le broyage et qu'elle soit supérieure à celle du tourteau de colza se pose.

b) *La matière utile du lait*

Les résultats montrent que le lot S n'a pas eu d'effet significatif sur le taux butyreux du lait et a entraîné une baisse significative du taux protéique. Dans l'essai mené par Chapuis et Demarbaix (2019), une baisse de la matière utile (TB, TP) de lot expérimental est observée mais semble liée à un effet dilution.

Les apports en acides aminés essentiels tels que la lysine et la méthionine influencent la synthèse des matières protéiques dans le lait. Une couverture est atteinte lorsque l'apport en lysine est équivalent à 7,3% PDI (seuil d'alerte à 6,8 % PDI). L'apport en méthionine recommandé est de 2,5 % PDI (seuil d'alerte à 2,1% PDI) d'après les tables INRA 2018. Les deux rations ont une teneur en lysine digestible (6,7 % PDI) inférieure aux recommandations. Le lot S a une teneur en méthionine digestible inférieure de 0,05 % PDI par rapport au lot T. L'équilibre en acides aminés ne permet pas d'expliquer la différence significative de TP observée sur le lot S.

C. L'absence d'effet sur l'évolution de l'état physique de vaches laitières.

Les résultats n'ont montré aucun impact du traitement alimentaire sur l'évolution de l'état physique des vaches laitières. Cela semble cohérent par rapport aux quantités réellement ingérées par lot. Alors que la ration apportée au lot soja avait initialement une densité énergétique plus élevée, l'ingestion plus faible de ce lot a permis d'atteindre des apports énergétiques relativement proches entre les deux rations. La NEC permet d'apprécier indirectement le bilan énergétique d'une ration (Butler, 2005). De plus, un animal ayant subi un déficit énergétique important maigrit beaucoup (Enjalbert, 2002), ce qui n'est pas le cas dans l'essai. Il en résulte une absence d'évolution de l'état corporel des vaches dans chaque lot.

D. Les résultats économiques pénalisés par la baisse du taux protéique

L'analyse de la marge sur coût alimentaire a été réalisée en utilisant les prix des aliments utilisés pour l'essai (conjuncture économique 2020). Les résultats de marge sur coût alimentaire montrent un avantage économique pour la ration témoin. Deux éléments expliquent cette différence. Le coût de la graine de soja toastée est plus élevé (432 €/TMB) que le tourteau de colza (257 €/TMB). Le coût de la graine de soja seule, représente 370 €/TMB auxquels s'ajoutent les coûts du toastage de la graine (55 €/TMB) et son broyage (15 €/TMB).

Les hypothèses hautes de prix (qui correspondent aux tendances de prix en juin 2021) ne montrent pas d'intérêt économique à utiliser des graines de soja toastées pour des vaches laitières dans ce contexte. Les simulations réalisées correspondent à une situation d'achat des graines de soja à l'extérieur de l'exploitation, une étude globale économique de l'intégration de la culture de soja dans l'assolement de la ferme pourrait être un angle d'analyse intéressant : la

culture de soja présente un intérêt agronomique dans la fixation d'azote atmosphérique dans le sol en tant que précédent cultural (Terre Inovia, 2018).

E. Le développement du soja local, une piste crédible mais risquée

L'essai a montré un avantage économique pour la ration témoin. Néanmoins, la mise en pratique de la ration expérimentale au sein d'une exploitation laitière est envisageable d'un point de vue technique et économique.

Si le soja avait été produit sur l'exploitation, la ration expérimentale permettrait d'atteindre une autonomie protéique de la ration de 51 % contre 39 % pour la ration témoin. L'amélioration de l'autonomie protéique des exploitations reste l'un des objectifs du projet ARPEEGE. Dans ce cas, il semblerait que la production de graines de soja produites et toastées dans l'exploitation soit l'une des solutions possibles. Cela permettrait ainsi de réduire la dépendance des élevages aux importations de MRP. Le niveau d'autonomie protéique pour la ration expérimentale pourrait être accru en substituant entièrement le tourteau de colza. Le taux de matière grasse de la ration devant rester inférieur à 5 % reste toutefois le facteur limitant

Néanmoins la consommation de graines de soja produites localement pose des questions sur la disponibilité de ces graines. Un potentiel de production existe dans la région Grand-est, il reste maintenant à voir si celui-ci va être atteint et dans combien de temps. Baser toute sa stratégie sur une production locale de matières premières peut être un risque en termes d'approvisionnement. Une trop forte demande et une offre insuffisante pourraient conduire à une hausse du prix du soja comme c'est le cas avec le tourteau de soja sans OGM depuis le début d'année 2021 (La coopérative Agricole NA, 2021).

F. Les limites opérationnelles de l'étude

L'étude menée montre quelques limites. Dans un premier temps, le fait que cet essai se déroule dans une ferme de lycée agricole ne permet pas le même degré de précision que s'il avait eu lieu dans une station expérimentale. Cela aurait notamment permis de connaître les ingestions individuelles des vaches laitières et ainsi mieux comprendre les effets sur les performances d'un lot. Dans ce sens, cela aurait permis de quantifier plus finement les quantités de chaque aliment dans les refus.

L'apport de la ration est également une limite de l'étude. Il faut distinguer deux aspects : le matériel et le manipulateur. La ration a été apportée avec un godet mélangeur qui ne permet

pas une distribution homogène de la ration, plusieurs passages ont été nécessaires pour la distribution complète de la ration. Les animaux pouvaient plus facilement faire le tri. Cela peut avoir eu une incidence sur les refus retrouvés sur la table d'alimentation. Le godet mélangeur ayant une précision moins minutieuse que celle d'une mélangeuse. La multiplication des opérateurs représente aussi un biais à prendre en considération.

G. Les perspectives de l'étude

Plusieurs possibilités existent pour la suite donnée à cette étude. Il pourrait être envisagé de renouveler la même expérimentation l'année prochaine (2021-2022) au sein de la ferme du lycée agricole de Rethel. Cela aurait pour intérêt de répéter l'essai dans des conditions similaires et d'obtenir des données comparables pour potentiellement confirmer les résultats décrits.

Une autre voie serait de comparer les performances de vaches laitières nourries avec une ration complétée uniquement avec du tourteau de colza et une ration complétée uniquement avec des graines de soja toastées. A la suite des résultats de l'essai, d'autres voies ont été envisagées dans le cadre du projet ARPEEGE. L'essai 2021-2022 s'orienterait sur une comparaison entre des graines de soja crues et des graines de soja toastées. L'objectif serait de mesurer l'intérêt du toastage. Il existe aujourd'hui peu de références françaises et locales sur le sujet.

Conclusion

Ce rapport visait à connaître l'effet de l'incorporation de graines de soja produites et toastées dans la région Grand-Est sur les performances techniques et économiques de vaches laitières. Pour ce faire, deux lots de 26 vaches laitières de races Holstein et Jersiaise ont été formés. Les animaux du lot témoin étaient complémentés avec du tourteau de colza uniquement tandis pour les animaux du lot expérimental recevaient des graines de soja toastées en substitution partielle à du tourteau de colza (- 50 %).

L'essai zootechnique a montré que les performances des animaux ne différaient pas statistiquement entre le lot témoin et le lot soja au niveau la production laitière, du taux butyreux, de la matière grasse et du taux d'urée. Seul le taux protéique et la matière protéique du lait présentent des résultats statistiquement différents selon les lots. La ration composée de graines de soja toastées présente un taux protéique du lait significativement inférieur à celui de la ration témoin. Ce résultat ne semble pas être lié à un déficit en acides aminés digestibles dans la ration soja.

L'introduction de graines de soja toastées n'a pas affecté l'état physique des vaches laitières. Les vaches laitières de chaque lot ont ingéré une quantité d'énergie similaire, ce qui explique qu'il n'y a pas eu d'effet sur leur note d'état corporel ni sur leur poids vif par lot.

D'un point de vue économique, la ration témoin permet d'obtenir une meilleure marge alimentaire et une meilleure marge à la vache que la ration soja car la baisse du TP ne permet pas de compenser le cout alimentaire plus élevé de la ration soja.

Bibliographie

- Alonso R., Orue E.; Zabalza M. J., Grant G., Marzo F., 2000. Effect of extrusion cooking on structure and functional properties of pea and kidney bean proteins. *J. Sci. Food Agric.*, 80, 397-403.
- Agreste, 2015. Mémento-Statistique agricole. Région Grand Est, Edition 2015. Consultable : <http://46.29.123.56/IMG/pdf/R4215C01.pdf> [Consulté le 29 juin 2021].
- Agreste, 2020. Mémento-Statistique agricole. Région Grand Est, Edition 2019. Consultable : https://draaf.grand-est.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/memento2019_cle486374.pdf [Consulté le 29 juin 2021].
- 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*, 168, 45-52.
- Baillet A., 2021. Etude du bassin de production de soja en Grand-Est : volet Agronomique.
- Bargain V., 2021. Comment atteindre l'autonomie protéique de l'élevage français. Réussir Lait. Consultable : <https://www.reussir.fr/lait/comment-atteindre-lautonomie-protéique-de-lelevage-francais> [Consulté le 30 mai 2021].
- Beaumont B., Legarto J., 2006. Détermination des seuils d'incorporation de la graine de soja crue dans l'alimentation des vaches laitières., 38.
- Berger M. et al, 2015. Facteurs antitrypiques de la graine de soja : évaluation de la variabilité génotypique dans une collection de référence ; effet du semis précoce et de la réduction de l'irrigation. *OCL Oilseeds and fats crops and lipids*, 22. Consultable: <https://hal.inrae.fr/hal-02637139> [Consulté le 29 juin 2021].
- Butler W., 2005. Nutrition, negative energy balance and fertility in the postpartum dairy cow. *Cattle Practice*, 13, 13-18.
- Céréopa, 2017. La protéine dans tous ses états Rapport sur l'indépendance protéique de l'élevage français., 31.
- Cetiom éd., 2003. Graine entière de soja : de l'énergie et des protéines.
- Chapuis D., Debarmaix A., 2020. Utilisation de graines de Féveroles ou Soja toastées pour les vaches laitières. *Renc. Rech. Ruminants*.
- Coopérative Agricole NA, 2021. Circulaire matières premières-Flash MAP N°2021-06.
- CNIEL, 2021. 5 ans après les accords de Paris, la Ferme Laitière Bas Carbone poursuit son e... Consultable : <https://presse.filiere-laitiere.fr/actualites/5-ans-apres-les-accords-de-paris-la-ferme-laitiere-bas-carbone-poursuit-son-envol-pour-faire-de-la-france-une-terre-de-lait-durable-2ce3-ef05e.html> [Consulté le 29 juin 2021].

- Dhiman T.R., Korevaar A.C., Satter L.D., 1997. Particle Size of Roasted Soybeans and the Effect on Milk Production of Dairy Cows^{1,2}. *Journal of Dairy Science*, 80, 1722-1727.
- Dispositif INOSYS - Réseaux d'Élevage, 2019a. Économie de l'Élevage 2019. Coûts de production-Multifilières-n°501-Septembre 2019, 40.
- Dispositif INOSYS - Réseaux d'Élevage, 2019b. Analyse de l'autonomie massique des exploitations du Grand-Est.
- Dispositif INOSYS - Réseaux d'Élevages, 2020. État des lieux de l'autonomie alimentaire et protéique dans les ateliers d'élevage herbivores.
- Delanoue E., Dockes A.-C., Chouteau A., Roguet C., Philibert A., 2018. Regards croisés entre éleveurs et citoyens français : vision des citoyens sur l'élevage et point de vue des éleveurs sur leur perception par la société. *INRAE Prod. Anim.*, 31, 51-68.
- Enjalbert F., 2021. Relations entre alimentation et fertilité : actualités - Le Point Vétérinaire n° 227 du 01/07/2002. *Le Point Vétérinaire.fr*. Consultable : <https://www.lepointveterinaire.fr/publications/le-point-veterinaire/article/n-227/relations-entre-alimentation-et-fertilite-actualites.html> [Consulté le 1 juillet 2021].
- Faverdin P., Delagarde R., Delaby L., 2006. Préviation de l'ingestion des vaches laitières au cours de la lactation. *Renc. Rech. Rum.*, 13, 85-88.
- France Terre de Lait, 2017. Plan de la filière laitière.
- Groupe Bel, 2017. Le Groupe Bel - L'Association des Producteurs de lait Bel Ouest (APBO) et le Groupe Bel renforcent leur partenariat par un accord inédit pour une meilleure valorisation du lait. <https://www.groupe-bel.com/fr>. Consultable : <https://www.groupe-bel.com/fr/newsroom/news/lassociation-des-producteurs-de-lait-bel-ouest-apbo-et-le-groupe-bel-renforcent-leur-partenariat-par-un-accord-inedit-pour-une-meilleure-valorisation-du-lait/> [Consulté le 29 juin 2021].
- 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.*
- INRA, Nozière P., Sauvant D., Delaby L., 2018. L'alimentation des ruminants : INRA, 2018.
- Macera A., 2017. Synthèse bibliographique : le toastage des graines d'oléo-protéagineux. *PDSR-4 POEETE*, 25.
- Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, 2014. Plan Protéines Végétales pour la France 2014-2020. Consultable : <https://agriculture.gouv.fr/le-plan-proteines-vegetales-pour-la-france-2014-2020> [Consulté le 1 mars 2021].
- Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, 2020. La stratégie nationale protéines végétales.
- Mogensen L., Lund P., Kristensen T., Weisbjerg M., 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 - LIVEST SCI*, 115, 249-257.

- Paccard P, Capitain M, Farrugia A., 2003. Autonomie alimentaire des élevages bovins laitiers. *Renc. Rech. Ruminants* 10 : 89–92.
- Prudêncio da Silva V., van der Werf H.M.G., Spies A., Soares S.R., 2010. Variability in environmental impacts of Brazilian soybean according to crop production and transport scenarios. *Journal of Environmental Management*, 91, 1831-1839.
- Quinsac A., Labalette F., Carré P., Janowski M., Fine F., 2012. Comment valoriser dans l'alimentation animale, les graines de soja produites en France ? Comparaison de deux procédés de transformation : l'aplatissage-cuisson-pression et l'extrusion-pression. *OCL*, 19, 347-357.
- Rouillé B., Devun J., Brunshwig P., 2014. Feed self-sufficiency in French dairy farms. *OCL*, 21.
- Pires A.V., Eastridge M.L., Firkins J.L., 1996. Roasted soybeans, blood meal, and tallow as sources of fat and ruminally undegradable protein in the diets of lactating cows. *J Dairy Sci*, 79, 1603-1610.
- Poncet C., Remond D., Lepage E., Doreau M., 2003. Comment mieux valoriser les protéagineux et oléagineux en alimentation des ruminants. , 19.
- SOS PROEIN, 2018. Améliorer l'autonomie protéique des élevages de l'Ouest-Projet Terunic.
- Terre Inovia, 2019. Le soja dans la rotation culturale. Terres Inovia. Consultable : <https://www.terresinovia.fr/-/le-soja-dans-la-rotation-culturale> [Consulté le 30 juin 2021].
- Terre Unvia, 2018. Charte Soja de France. Version v1, 20.
- Tice E.M., Eastridge, M.L. Firkins, J.L., 1993. Raw soybeans and roasted soybeans of different particle sizes. I. Digestibility and utilization by lactating cows. *J. Dairy Sci.*, 76, 224-235.
- WWF, 2014. *Living Planet Report*.
- Young B.A., 1981. Cold Stress as it Affects Animal Production. *Journal of Animal Science*, 52, 154-163.

Annexes

Annexe 1 : Équation d'autonomie alimentaire. (Source : Dispositif Inosys-Réseaux d'Élevages)

- **L'autonomie alimentaire massique**, sur les fourrages, sur les concentrés ou sur la ration totale, en considérant les quantités d'aliments exprimées en kg ou t de matière sèche (MS).

$$\text{AA massique fourrages} = \frac{\sum \text{t MS fourrages produits}}{\sum \text{t MS fourrages produits} + \sum \text{t MS fourrages achetés}}$$

$$\text{AA massique concentrés} = \frac{\sum \text{t MS concentrés produits}}{\sum \text{t MS concentrés produits} + \sum \text{t MS concentrés achetés}}$$

$$\text{AA massique ration totale} = \frac{\sum \text{t MS (fourrages + concentrés) produits}}{\sum \text{t MS (fourrages + concentrés) produits} + \sum \text{t MS (fourrages + concentrés) achetés}}$$

- **L'autonomie alimentaire énergétique**, sur les fourrages, sur les concentrés ou sur la ration totale, en considérant les quantités d'énergie apportées par ces aliments exprimées en UFL.

$$\text{AA énergétique fourrages} = \frac{\sum \text{UF fourrages produits}}{\sum \text{UF fourrages produits} + \sum \text{UF fourrages achetés}}$$

$$\text{AA énergétique concentrés} = \frac{\sum \text{UF concentrés produits}}{\sum \text{UF concentrés produits} + \sum \text{UF concentrés achetés}}$$

$$\text{AA énergétique ration totale} = \frac{\sum \text{UF (fourrages + concentrés) produits}}{\sum \text{UF (fourrages + concentrés) produits} + \sum \text{UF (fourrages + concentrés) achetés}}$$

Pour mémoire, les travaux menés sur l'AA ont montré que l'autonomie énergétique était corrélée à l'autonomie massique. Pour autant, ces deux indicateurs peuvent être calculés.

- **L'autonomie alimentaire protéique**, sur les fourrages, sur les concentrés ou sur la ration totale, en considérant les quantités de matières azotées apportées exprimées en kg de MAT.

$$\text{AA protéique fourrages} = \frac{\sum \text{kg MAT fourrages produits}}{\sum \text{kg MAT fourrages produits} + \sum \text{kg MAT fourrages achetés}}$$

$$\text{AA protéique concentrés} = \frac{\sum \text{kg MAT concentrés produits}}{\sum \text{kg MAT concentrés produits} + \sum \text{kg MAT concentrés achetés}}$$

$$\text{AA protéique ration totale} = \frac{\sum \text{kg MAT (fourrages + concentrés) produits}}{\sum \text{kg MAT (fourrages + concentrés) produits} + \sum \text{kg MAT (fourrages + concentrés) achetés}}$$

Annexe 2 : Feuille distribution de la ration par lot.

ARPECCGE

le 01/02/2021

76VL

Godet 1: 1000 kg.
dont 487 kg Lot 1 (Rouge côté silos)
et 513 kg Lot 2 (Noir côté sdt).

Godet 2: LOT 1 (ROUGE - côté silos)
555 kg Nain Ensilage
74 kg Rumiluz.
103,6 kg Tx Colza
1,11 kg Urée

Godet 2 bis: LOT 2 (NOIR - côté sdt).
585 kg Nain Ensilage
78 kg Rumiluz.
54,6 kg Colza
42,9 kg Soja (moulu).
1,56 kg Urée.

Godet 3: 900 kg Pollen + 22,2 kg Mineral + 15,2 kg bicarbonate
+ 3,04 kg sel. ⇒ 940 kg mélange
dont: 458 kg Lot 1 (Rouge côté silos)
482 kg Lot 2 (Noir côté sdt).

Godet 4: 760 kg betteraves fourragères.
dont 370 kg Lot 1 (Rouge côté silos)
390 kg Lot 2 (Noir côté sdt).

Lot 1: 103,6 kg Tx Colza 1,11 kg urée	Lot 2: 54,6 kg Colza 42,9 kg Soja 1,56 kg Urée
---	---

Annexe 3 : Feuille modèle utilisée pour la notation des Notes d'État Corporel.

note	0	1	2	3	4	5
	Très malade ou fanélique	« très concave »	« concave »		« convexe »	Au maximum du gras
Fosse caudale	4 doigts + très profonde, très divisé	4 doigts Se divise en deux creux	« 2 à 3 doigts »	« 1 à 2 doigts »	« 1 doigt »	0 doigt
Pointe des fesses	Peau + os	Os bien net	triangle	Vague triangle	cercle	Noyé, sans contours
Vertèbres de la queue	Parfaitement dessinées	Bien visibles	On peut les compter	On ne les compte pas	bourrelets	Larges bourrelets
Peau au toucher sur os	Peau collée	Peau presque collée	Ne colle pas	Petite couche de gras	Couche de gras	Bonne couche de gras

note	0	1	2	3	4	5
Profil-type	Très en balde, fanélique	« très concave »	« concave »	« Ni concave, ni convexe »	« convexe »	« maximum du gras »
Liaison colonne - hanche	Très très creux	Très creux	creux	Légèrement creux	droite	bombé
Pointe de hanches	Peau + os	Angles très nets	Angles nets	Angles flous	Angles arrondis	Très arrondis
Apophyses transverses	Dessin de l'os net, visible	creusées à plus de 1/2	creusées à 1/4	Non visibles	non visibles comme amouche	invisibles, creux du flanc comblé
Peau au toucher	Collée à l'os	Peau presque collée	Ne colle pas	Petite couche de gras	Couche de gras	Bonne couche de gras

Lot Témoin/Rouge/Silo

Lot 1 : Identifiants Ration témoin		Arrière				Avant			
N° Travail	Race	Fosse caudale	Pointe fesses	Vertèbre s queue	Peau au toucher	Liaison colonne Queue	Pointe de la hanche	Apophyses transverses	Peau au toucher
* 7858	PH	2	2	2,5		2	2	1,5	
7777	PH	0,75	1	X		2	1,25	1	
7822	PH	1	1,5	2		2	1,25	1	
* 7853	PH	1	1,5	1,5		2	1,75	1,5	
7766	PH	2,5	4,5	3		3	2	2	
7686	PH	1	2,5	2,5		2,5	2,5	2	
x 7697	PH	1	2	2		2	2,25	2	
7716	PH	2	2	2,5		3	2	2,5	
x 7739	PH	1	1,5	1,25		1	3	1,25	
7690	PH	1	2	1		2	1,75	1,25	
7618	PH	1	1,5	2,5		2	1	1	
7703	PH	1	1,5	2		2	1,5	2,5	
7698	PH	1	1,5	1,5		2	1,5	1	
7637	PH	2	3	3		2,5	2	1,5	
* 7530	PH	0,5	0,75	1		2	0,5	0,5	
7620	PH	1	1,5	1,5		2	2	1,5	
# 7804	Jersiaise	1,75	2	2		1,75	2	1,75	
7843	Jersiaise	2	2,5	2		2,5	2,25	1,75	
9531	Jersiaise	1,5	1,25	2		1	1,5	1,5	
9533	Jersiaise	2	2	2		2	2	2,5	
* 9530	Jersiaise	2,5	2,25	2		3	2,5	2	
# 7781	Jersiaise	3,5	3,75	3		3	3,25	3	
x 9526	Jersiaise	1	1	1,5		1	1,5	1,5	
7717	Jersiaise	3	3	3		2,5	2,5	2,5	
1850	Jersiaise	3	2,75	3		2,5	2,75	2,75	
x 9128	Jersiaise	2,5	3	3		2,5	2,25	2,5	
5376	Jersiaise	1,75	1,75	2,5		2	2,5	3	

Annexe 4 : Sorties statistiques en période pré-expérimentale

Production laitière

Type III Analysis of Variance Table with Satterthwaite's method

	Sum Sq	Mean Sq	NumDF	DenDF	F value	Pr(>F)
lot	0.003	0.003	1	23	0.0006	0.98118
parite	28.138	28.138	1	22	6.1382	0.02139 *
race	110.414	110.414	1	22	24.0866	6.588e-05 ***
lot:parite	0.918	0.918	1	23	0.2003	0.65869
lot:race	0.146	0.146	1	23	0.0318	0.86013
parite:race	2.864	2.864	1	22	0.6249	0.43768

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Taux butyreux

Type III Analysis of Variance Table with Satterthwaite's method

	Sum Sq	Mean Sq	NumDF	DenDF	F value	Pr(>F)
lot	10.06	10.06	1	23	0.3891	0.5389
parite	21.66	21.66	1	22	0.8377	0.3700
race	1714.47	1714.47	1	22	66.2993	4.399e-08 ***
lot:parite	0.05	0.05	1	23	0.0018	0.9664
lot:race	47.95	47.95	1	23	1.8541	0.1865
parite:race	21.42	21.42	1	22	0.8285	0.3726

Taux protéique

Type III Analysis of Variance Table with Satterthwaite's method

	Sum Sq	Mean Sq	NumDF	DenDF	F value	Pr(>F)
lot	2.233	2.233	1	23	0.7281	0.4023
parite	0.026	0.026	1	22	0.0083	0.9280
race	144.059	144.059	1	22	46.9691	6.959e-07 ***
lot:parite	0.264	0.264	1	23	0.0860	0.7720
lot:race	1.266	1.266	1	23	0.4128	0.5269
parite:race	1.103	1.103	1	22	0.3595	0.5549

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Matière grasse

Type III Analysis of Variance Table with Satterthwaite's method

	Sum Sq	Mean Sq	NumDF	DenDF	F value	Pr(>F)
lot	1700	1700	1	23	0.0712	0.79201
parite	115828	115828	1	22	4.8483	0.03846 *
race	37094	37094	1	22	1.5527	0.22585
lot:parite	33	33	1	23	0.0014	0.97071
lot:race	23207	23207	1	23	0.9714	0.33459
parite:race	11146	11146	1	22	0.4666	0.50170

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Matière protéique

Type III Analysis of Variance Table with Satterthwaite's method

	Sum Sq	Mean Sq	NumDF	DenDF	F value	Pr(>F)
lot	1067	1067	1	23	0.1561	0.6964087
parite	64078	64078	1	22	9.3719	0.0057183 **
race	105348	105348	1	22	15.4080	0.0007235 ***
lot:parite	808	808	1	23	0.1182	0.7341406
lot:race	17	17	1	23	0.0025	0.9606531
parite:race	1565	1565	1	22	0.2289	0.6370254

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Taux d'urée

Type III Analysis of Variance Table with Satterthwaite's method

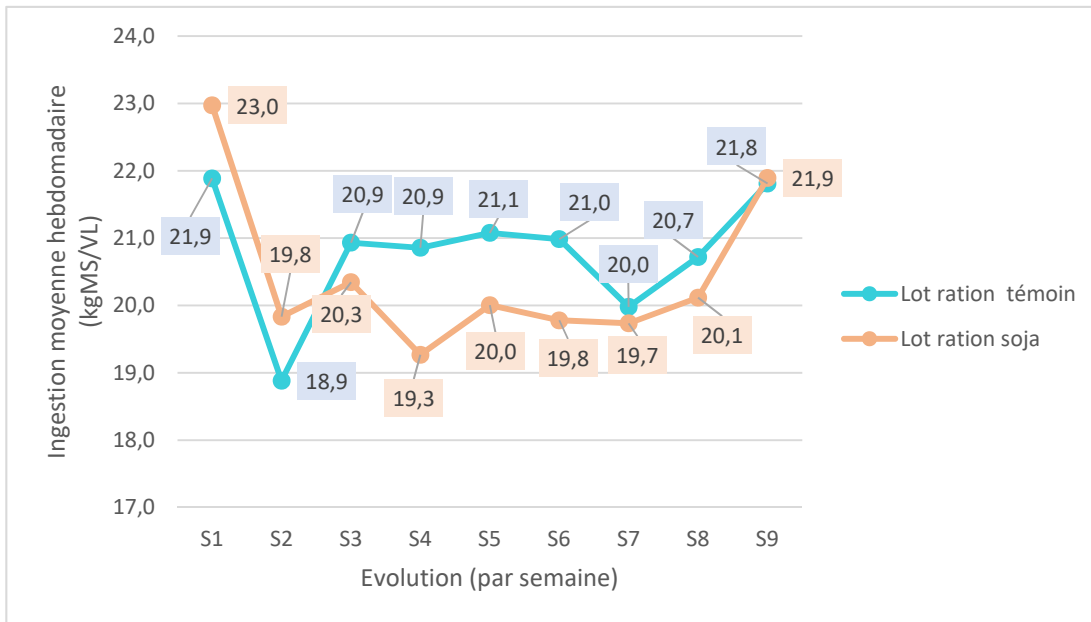
	Sum Sq	Mean Sq	NumDF	DenDF	F value	Pr(>F)
lot	103.2	103.2	1	45	0.0771	0.7826
parite	3662.9	3662.9	1	45	2.7342	0.1052
race	1296.7	1296.7	1	45	0.9679	0.3305
lot:parite	79.6	79.6	1	45	0.0594	0.8086
lot:race	882.1	882.1	1	45	0.6585	0.4214
parite:race	4.2	4.2	1	45	0.0032	0.9554

Leucocytes

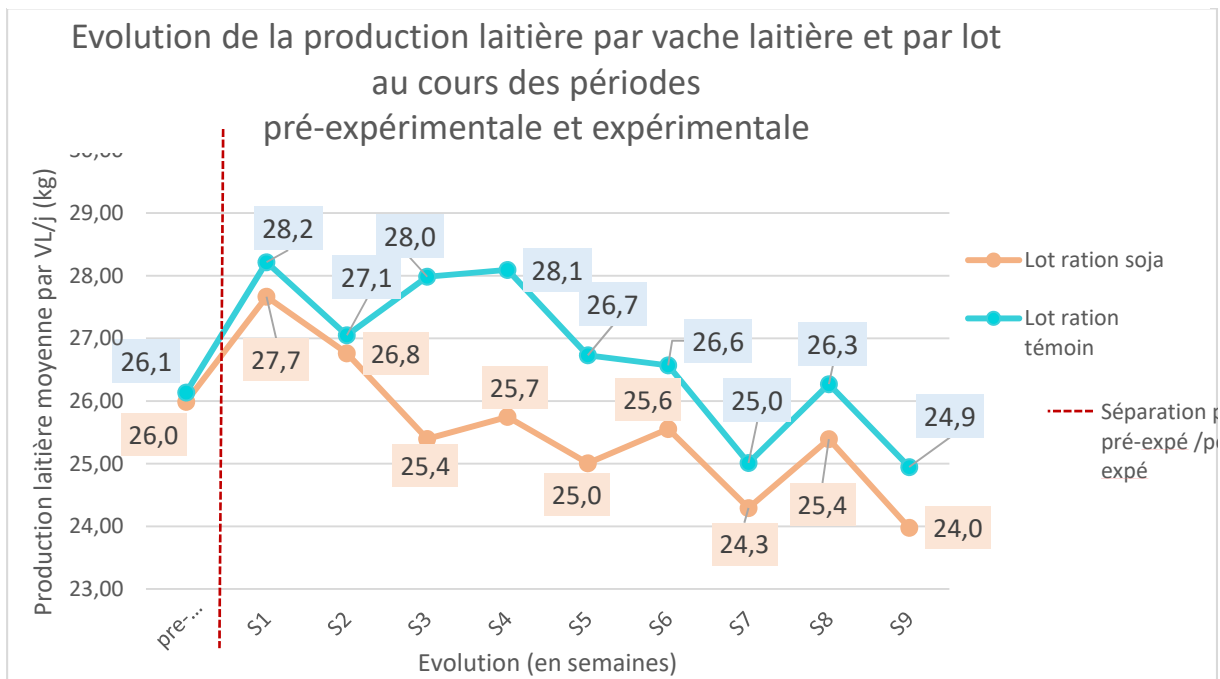
Type III Analysis of Variance Table with Satterthwaite's method

	Sum Sq	Mean Sq	NumDF	DenDF	F value	Pr(>F)
lot	0.64349	0.64349	1	45	1.8070	0.1856
parite	0.10164	0.10164	1	45	0.2854	0.5958
race	0.05383	0.05383	1	45	0.1512	0.6993
lot:parite	0.15848	0.15848	1	45	0.4450	0.5081
lot:race	0.00007	0.00007	1	45	0.0002	0.9887
parite:race	0.00861	0.00861	1	45	0.0242	0.8771

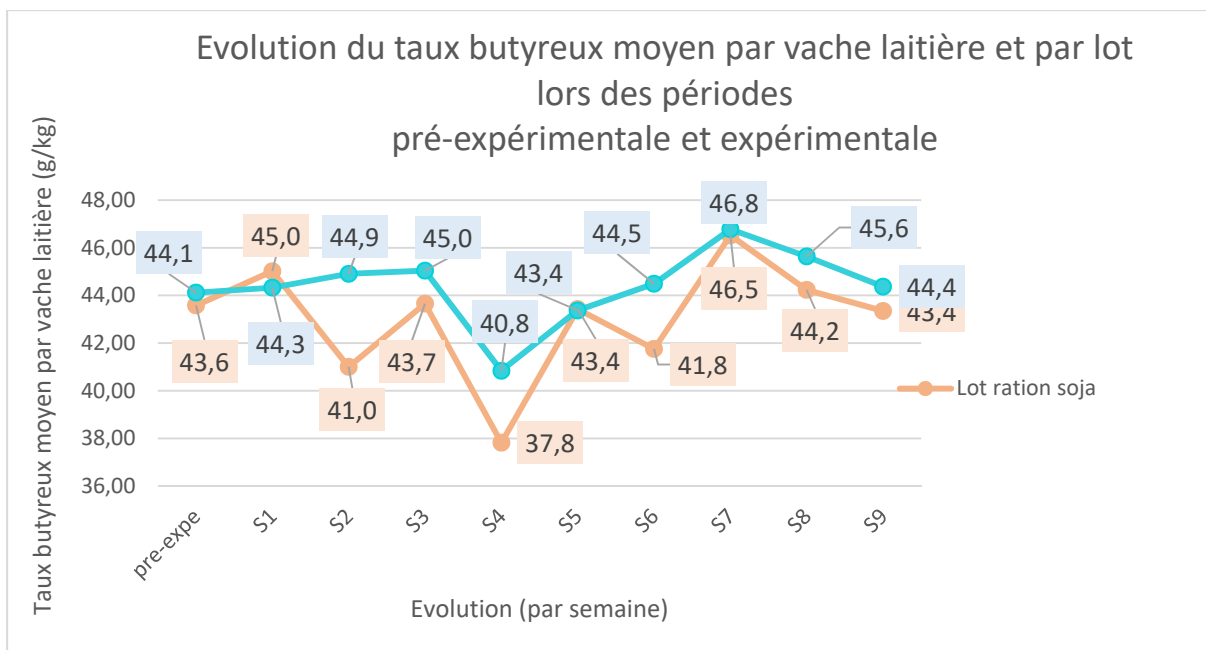
Annexe 5 : Graphiques de l'évolution des paramètres mesurés au cours de l'essai.



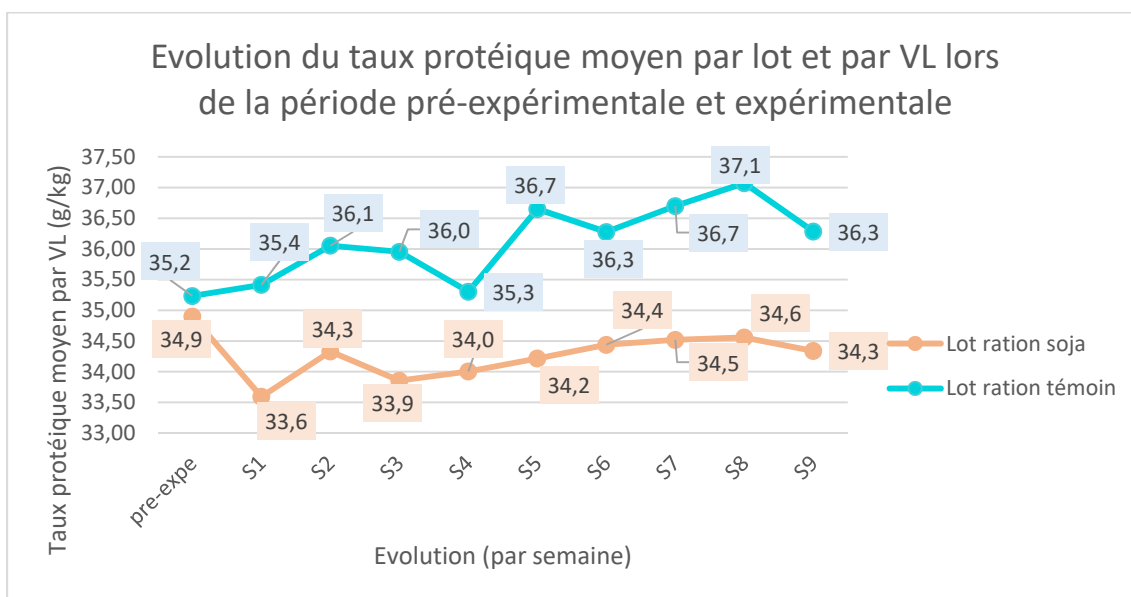
Annexe 5.1 : Évolution hebdomadaire de l'ingestion par lot et par vache laitière lors de la période expérimentale.



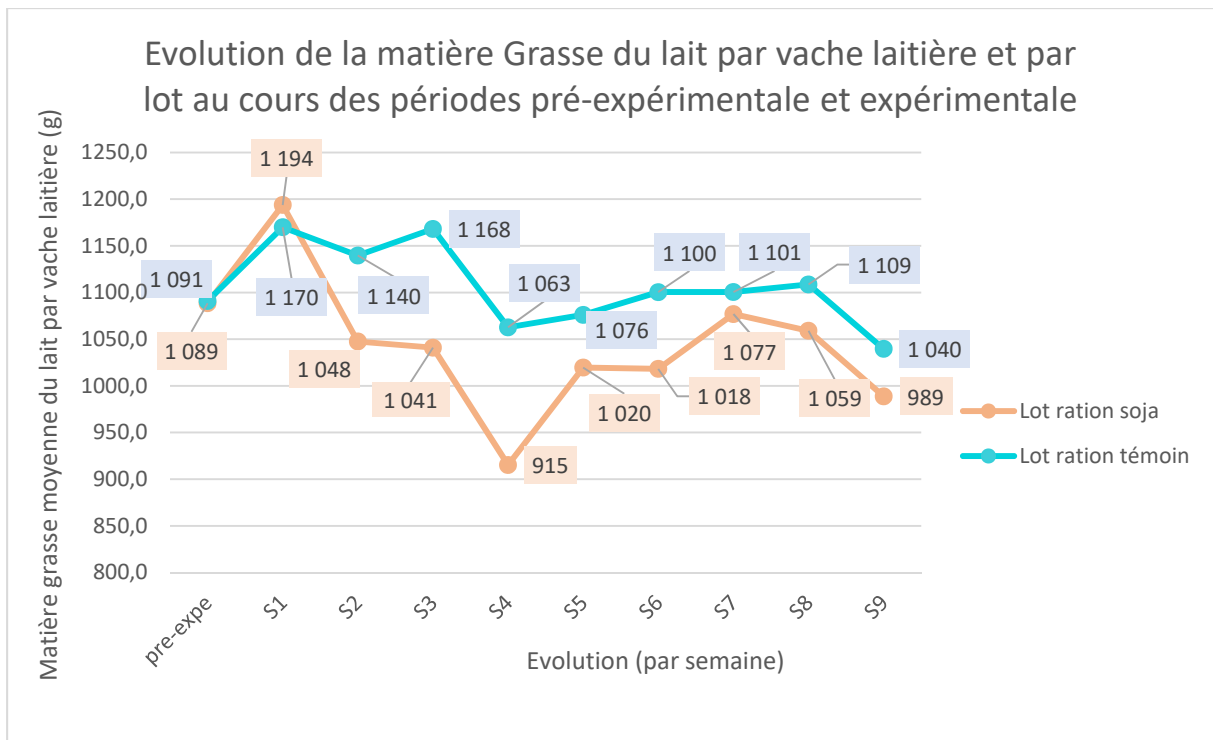
Annexe 6.2 : Évolution de la production laitière par vache et par lot lors des périodes pré-expérimentale et expérimentale



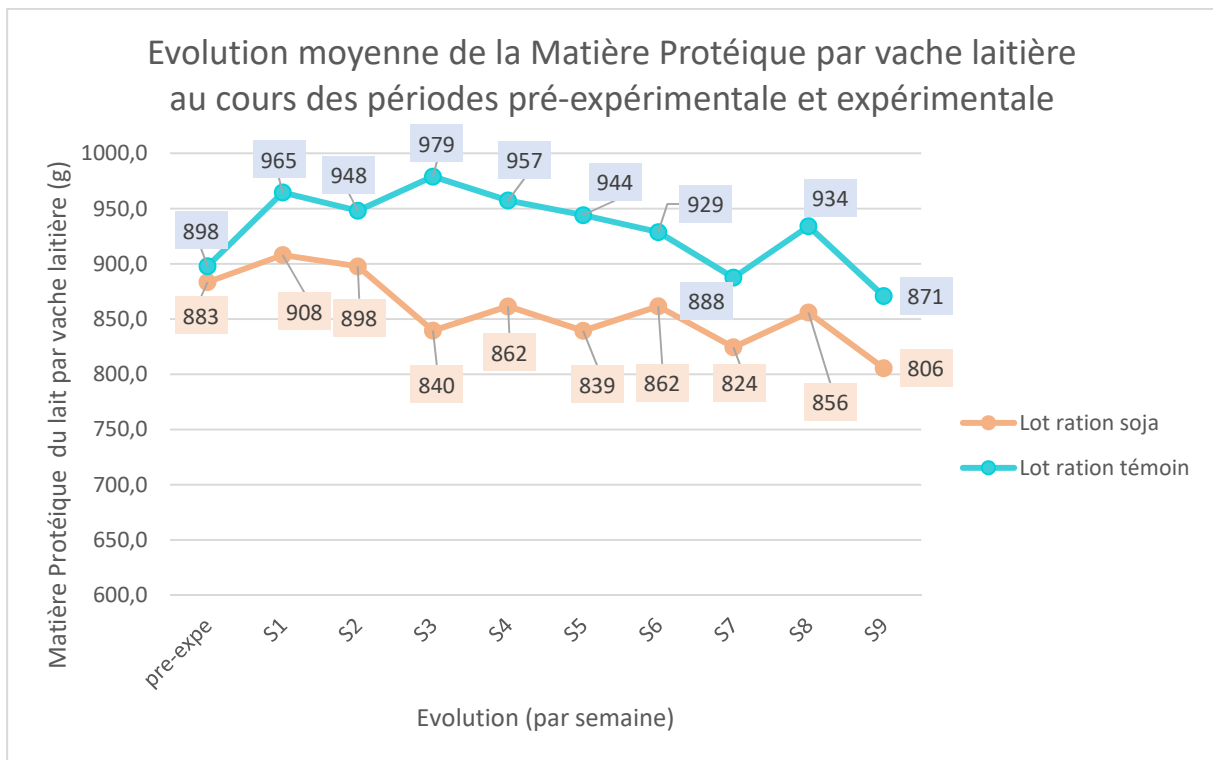
Annexe 6.3 : Évolution du taux butyreux par vache laitière et par lot lors des périodes pré-expérimentale et expérimentale



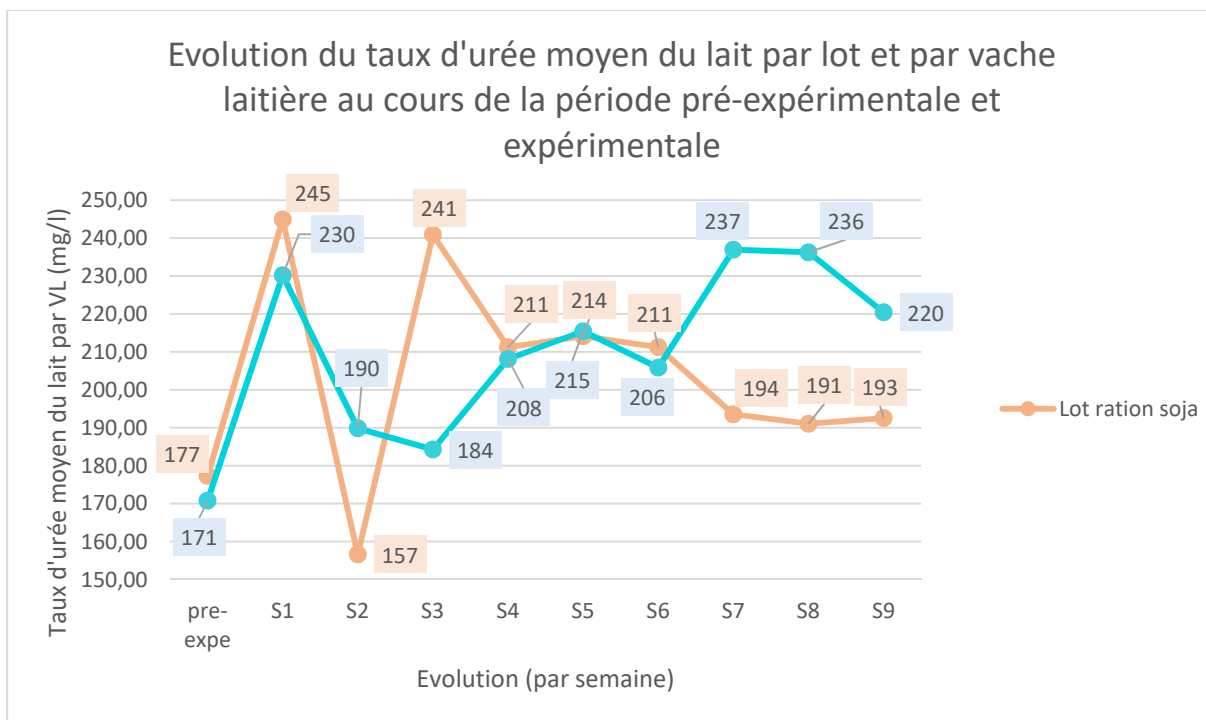
Annexe 6.4 : Évolution du taux protéique par vache laitière et par lot lors des périodes pré-expérimentale et expérimentale



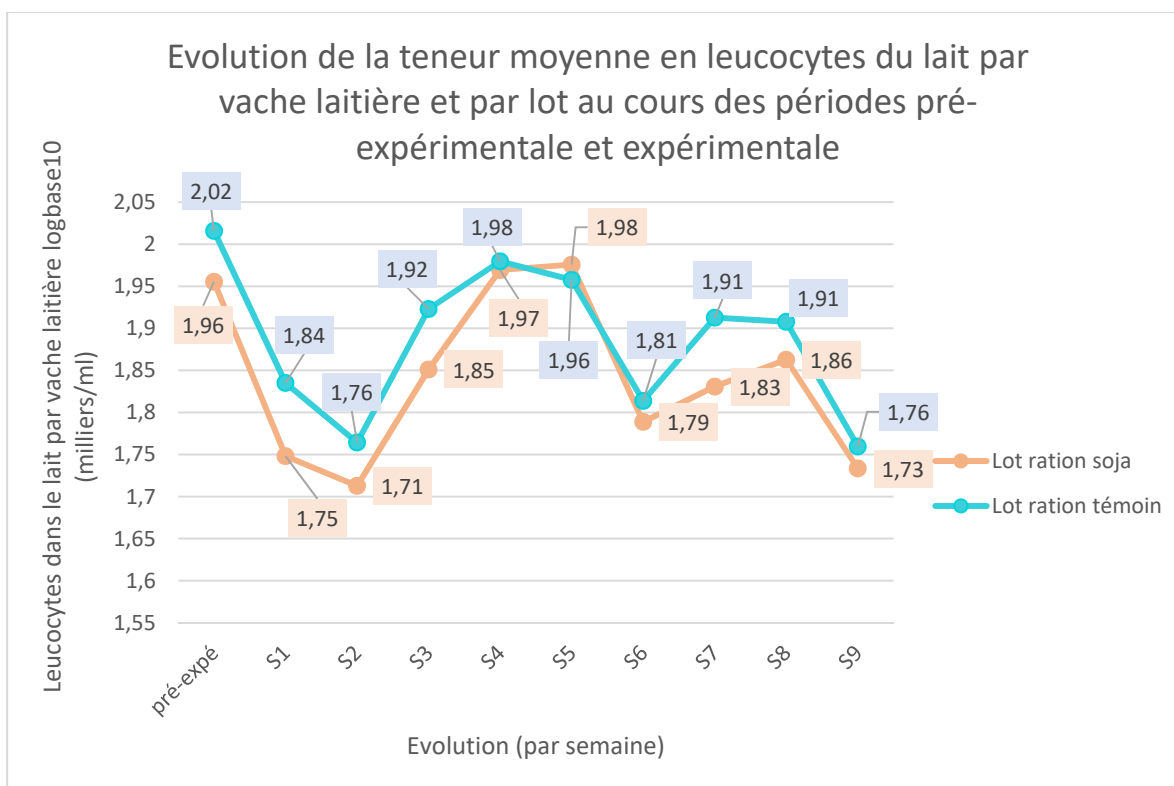
Annexe 6.5 : Évolution de la matière grasse du lait par vache laitière et par lot lors des périodes pré-expérimentale et expérimentale



Annexe 6.6 : Évolution de la matière protéique du lait par vache laitière et par lot lors des périodes pré-expérimentale et expérimentale



Annexe 6.7 : Évolution du taux d'urée du lait par vache laitière et par lot lors des périodes pré-expérimentale et expérimentale



Annexe 6.8 : Évolution du nombre de leucocytes par vache laitière et par lot lors des périodes pré-expérimentale et expérimentale

Figure 1 : Evolution de la production et de la consommation en MRP depuis 1973-1974 (Source : Terres Univia)	8
Figure 2: consommation en tourteaux de soja, colza et tournesol en France depuis 2005 (source : Céréopa, 2017)	8
Figure 3: Évolution du prix des tourteaux de soja, colza et tournesol De juillet 2011 à juillet 2020 (Source : Terres Univia, 2020)	10
Figure 4: Schéma de la méthodologie des calculs de l'autonomie alimentaire chez les ruminants (Sources : dispositif INOSYS- réseaux d'élevages, 2020)	13
Figure 5: les indicateurs de l'autonomie alimentaire (Source : Dispositif INOSYS-Réseaux d'Élevages, 2020).....	13
Figure 6 : Présentation des légumineuses à graines en fonction de leur taux de protéines (Source : Terre Univia)	15
Figure 7 : Schéma de l'organisation des différents comités techniques et scientifiques (CST) du projet ARPEEGE.....	17
Figure 8 : Évolution de la surface de soja cultivé en France (Source : Terre Univia, 2018) ...	17
Figure 9: Organisation de la filière soja par la Charte Soja de France (Source : Terre Univia,2018).....	17
Figure 10 : Estimation de la surface susceptible de recevoir du soja par département et par catégorie de faisabilité (Source : Baillet, 2021)	17
Figure 11: Schéma représentant les étapes du processus de trituration des graines d'oléo- protéagineux (Source : Terre Univia).....	20
Figure 12 : Schéma représentant le processus d'extrusion des graines d'oléo-protéagineux (Source : Cétiom)	20
Figure 13: Schéma du processus de toastage (Source : GRAPEA85 repris par Jurquet et al., 2018).....	23
Figure 14 : Modèle statistique utilisé lors du test de covariance.	37

Collection
Résultats

Edité par :
l'Institut de l'Élevage
149 rue de Bercy
75595 Paris Cedex 12
www.idele.fr
Mars 2022

Dépôt légal :
1^{er} trimestre 2022
© Tous droits réservés
à l'Institut de l'Élevage
Réf. 0022 302 008
ISSN 1773-4738



Valorisation technique et économique de graines de soja produites et toastées dans la région Grand-Est dans l'alimentation des vaches laitières

Compte-rendu d'essai sur la ferme du lycée de Rethel (08)

La souveraineté alimentaire, et notamment protéique, est un enjeu majeur en élevage. Dans un contexte de volatilité du coût des matières premières, de préoccupations environnementales et d'un souhait du consommateur de revenir à une alimentation plus locale, il convient de relocaliser la production des matières premières riches en protéines. Le projet ARPEEGE s'inscrit dans cette dynamique avec la volonté de produire de nouvelles ressources protéiques à l'échelle de la région Grand-Est et en particulier par le développement de la culture du soja. Ces ressources pourront ensuite être valorisées par les élevages de la région et ainsi leur permettre de répondre à des démarches qualité comme l'alimentation sans OGM.

Dans ce contexte, les partenaires du projet s'interrogent sur l'intérêt technique et économique de l'incorporation de graines de soja toastées dans la ration de vaches laitières. Pour répondre à ce questionnement, un essai zootechnique a été mis en place au cours de l'hiver 2020-2021 sur la ferme du lycée de Rethel (08).

Ce rapport est structuré en deux parties. Dans un premier temps, la demande de l'étude est détaillée et située dans son contexte à partir d'un travail bibliographique. Ce travail aboutit à la reformulation de la problématique et à la deuxième partie qui est l'étude technique. Dans cette seconde partie seront présentés le matériel et les méthodes utilisées, puis les résultats obtenus et la discussion.

Avec le soutien financier :



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

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE ET DE L'ALIMENTATION

Liberté Équité Fraîcheur

Contact :
alice.berchoux@idele.fr

Mars 2022
Réf. 0020 302 008
ISSN 1773-4738

www.idele.fr

