

Mémoire de fin d'études

Evaluation des intérêts agroéconomiques de
l'insertion de légumineuses à graines dans des
systèmes de cultures du Nord-Est de la France



Maîtres de stage : Vincent LECOMTE, *Chargé d'études technico-économiques*

Bastien REMURIER, *Ingénieur de développement Champagne Ardenne et animateur régional protéagineux*

Enseignant responsable : Nicolas GUILPART, *Enseignant chercheur*



MÉMOIRE

Présenté par : BRILLAULT Laurine

Dans le cadre de la **dominante d'approfondissement** :

Domaine d'Approfondissement « Produire et Innover dans les Systèmes Techniques Végétaux »,
option « Gérer et Accompagner L'Evolution des Systèmes Agricoles (CIGALES) »

Stage effectué du : 01/03/2021 au 27/08/2021

À :

Terres Inovia,

Chambre d'Agriculture de la Marne - Complexe agricole du Mont Bernard - Route de Suippes

51000 Châlons-en-Champagne

Sur le **thème** :

Evaluation des intérêts agro-économiques et environnementaux de l'insertion de légumineuses à
graines dans des systèmes de cultures du Nord-Est de la France

Pour l'obtention du :
DIPLÔME D'INGÉNIEUR AGROPARISTECH

Enseignant/e-tuteur responsable de stage : Nicolas GUILPART, *Enseignant chercheur*

Maître de stage :

Vincent LECOMTE, *Chargé d'études technico-économiques*

Bastien REMURIER, *Ingénieur de développement Champagne Ardenne et animateur régional
protéagineux*

Soutenu le : 23/09/2021

AUTORISATION DE MISE EN LIGNE

Je soussigné(e) : Mme, Brillault, Laurine
né(e) le 09/09/1996 à Rennes.

rédacteur du mémoire de fin d'études intitulé : « Evaluer les intérêts agro-économiques de l'insertion des légumineuses à graines dans les systèmes de cultures du Nord-Est de la France. »

soutenu ou rédigé pour la fin de mes études de la Formation des Ingénieurs AgroParisTech, dominante d'approfondissement : Produire et Innover dans les Systèmes Techniques Végétaux

Agissant en l'absence de toute contrainte et parfaitement conscient que ma seule obligation réside dans le dépôt de mes travaux,

Autorise, si la diffusion est également autorisée, après avis du jury, **la mise en ligne de mes travaux dans les conditions suivantes :**

- La mise en ligne peut être effectuée par moi-même, ou AgroParisTech ou toute nouvelle structure qui pourrait s'y substituer.
- La mise en ligne est autorisée sur intranet ou internet. Elle implique le respect par l'élève ingénieur de prescriptions techniques minimales fournies par AgroParisTech ;
- Le texte sera diffusé en version intégrale. Une notice bibliographique pourra cependant être établie.
- En cas de confidentialité AgroParisTech s'engage à ne diffuser le texte déposé qu'une fois la période de confidentialité passée.
- La présente autorisation ne saurait être source de responsabilité de l'établissement AgroParisTech sur le contenu de l'œuvre dont l'auteur demeure seul responsable.
- La présente autorisation emporte renonciation à toute rémunération pour la diffusion effectuée dans les conditions ici prévues.
- La présente autorisation n'emporte pas obligation pour l'établissement AgroParisTech à la mise en ligne.
- La présente autorisation est consentie sans limitation de temps.
- L'auteur peut retirer l'autorisation de diffusion à tout moment à charge pour lui d'en aviser le responsable de la bibliothèque d'AgroParisTech par lettre recommandée avec accusé de réception. L'œuvre sera alors retirée dans les meilleurs délais.

Fait à Saint Médard sur Ille

le 01/09/2021

Signature de l'étudiant.



1 Rayer la mention inutile

AgroParisTech - 16, rue Claude Bernard - F-75231 Paris Cedex
téléphone 33 (0) 1 44 08 16 61– fax (33 (0) 1 44 08 16 00
www.agroparistech.fr

Remerciements

L'étude présentée dans ce document est l'aboutissement d'échanges avec une diversité d'acteurs du monde agricole qui m'ont enrichie tant sur le plan professionnel que personnel.

Je tiens à remercier tout d'abord mes maîtres de stage Bastien REMURIER et Vincent LECOMTE, pour leurs aides précieuses et l'autonomie qu'ils m'ont laissée lors de cette étude, ainsi que l'ensemble des collègues de Terres Inovia pour leurs conseils avisés aussi bien méthodologiques que techniques.

Je remercie aussi l'ensemble de l'équipe enseignante d'AgroParisTech pour m'avoir accompagné lors de ma formation, et plus particulièrement à mon professeur référent Nicolas GUILPART pour le suivi assidu de ce stage.

Mes remerciements sincères pour chacune des personnes ayant contribué à la réalisation de cette étude pour leur disponibilité et leurs expertises techniques des territoires étudiés.

Merci aussi à l'ensemble des agriculteurs rencontrés pour leur accueil, le partage de leur savoir, et leur bienveillance.

Mes remerciements vont aussi aux personnes rencontrées à la Chambre d'Agriculture de la Marne sans qui les pauses café n'auraient pas eu la même saveur.

Et enfin je remercie aussi mes colocataires et ami-es chalonnais-es pour leurs accueils chaleureux dans l'Est de la France.

Introduction

Les légumineuses sont des plantes dicotylédones à fleurs papilionacées dont le fruit est une gousse, appartenant à la famille des Fabacées. La majorité des légumineuses sont caractérisées par leur capacité à utiliser l'azote atmosphérique (N₂) pour produire leurs propres composants protéiques. Cette faculté est permise par la symbiose avec des bactéries fixatrices d'azotes du genre *Rhizobium* présentes dans leurs nodosités. Les légumineuses peuvent être classées en trois catégories en fonction de leurs débouchés : les légumineuses à graines, les légumineuses fourragères et les légumineuses cultivées sans exportation de la parcelle (interculture, association, etc.). Les légumineuses à graines sont récoltées pour leurs graines riches en amidon, lipides et surtout en protéines, destinées à l'alimentation humaine ou animale. L'adaptation aux contextes pédoclimatiques, a entraîné le développement de certaines légumineuses dans le Nord de la France et de l'Europe, comme le pois et la féverole. (Schneider & Huyghe, 2015)

I. Contexte et enjeux du développement des légumineuses à graines dans le Nord-Est de la France

a. Contexte et enjeux du développement des légumineuses à graines

Depuis 1990, la production mondiale de légumineuses à graines a fortement augmenté passant de 59 millions de tonnes à 81 millions de tonnes en 2018. Cette production est inégalement répartie dans le monde (Figure 1). L'Asie, avec notamment l'Inde et la Chine, constitue presque la moitié de la production mondiale de légumineuses. De plus, le continent africain et américain, ont vu leur production fortement augmenter depuis les années 90, et représente aujourd'hui plus de 40% des surfaces mondiales. En Europe, la situation est tout autre. Le continent produit seulement 10% des légumineuses à graines au niveau mondial, avec une prédominance des pois protéagineux et des féveroles. (Kalamvrezos Navarro, 2018)

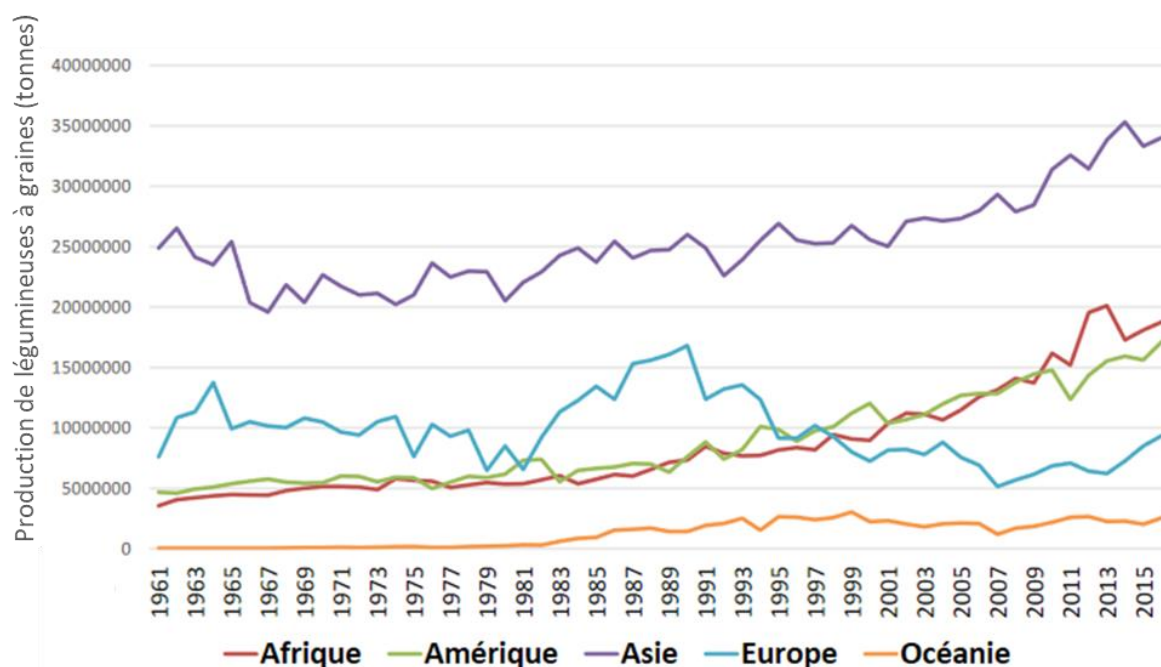


Figure 1 : Evolution mondiale de la production de légumineuses à graines par région (1960 - 2018) (Kalamvrezos Navarro, 2018)

La France est et a toujours été un leader européen en production de légumineuses à graines, principalement pour le pois protéagineux. Mais ces productions sont en perte de vitesse depuis le début des années 90. (Figures 2 et 3) (Lacampagne, 2019)

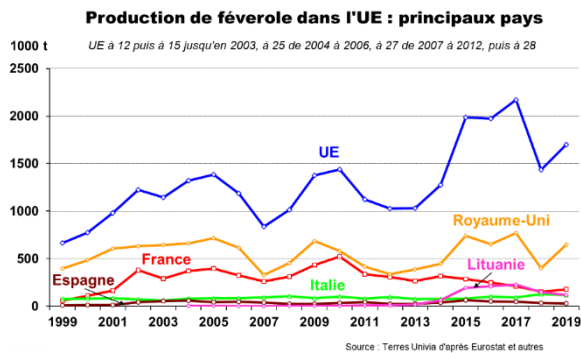


Figure 3 : Répartition de la production de féverole dans l'UE par pays (Terres Univia d'après Eurostat et autres)

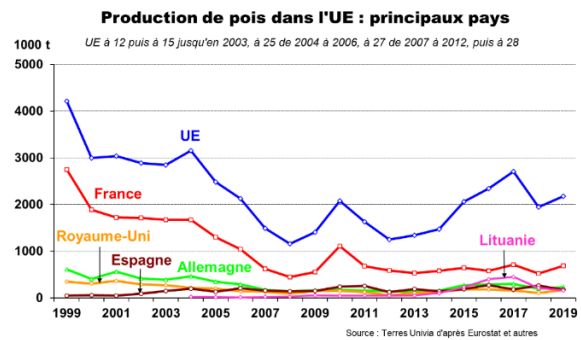


Figure 2 : Répartition de la production du pois dans l'UE par pays (Terres Univia d'après Eurostat et autres)

La diminution des surfaces de légumineuses à graines en France s'explique par les évolutions réglementaires (arrêt des soutiens européens aux protéagineux) et la dégradation de la compétitivité par rapport à d'autres cultures en termes de prix et de rendement. La France et l'Europe sont aujourd'hui très dépendants aux importations de protéines végétales. Héritage historique d'un système qui a donné la préférence aux céréales en Europe, confortant un différentiel de compétitivité entre ces cultures, induisant aujourd'hui un verrouillage socio-économique à la production des légumineuses. (Magrini, et al., 2016)

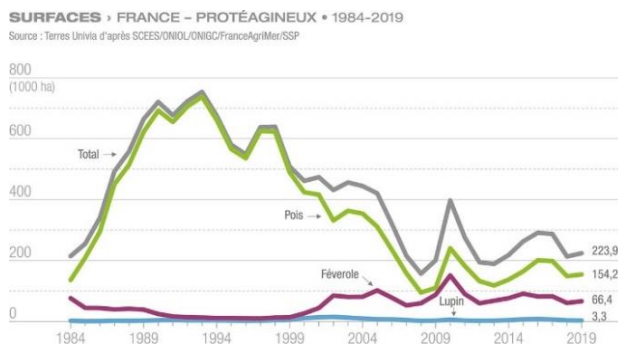


Figure 5: Evolution des surfaces de protéagineux en France (1980-2019) (Terres Inovia)

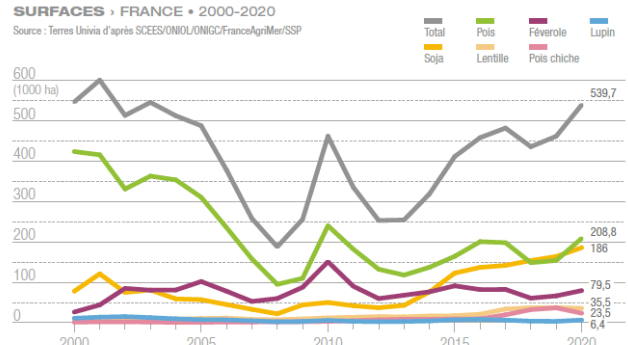


Figure 4 : Evolution des surfaces de légumineuses à graines (2000-2020) (Terres Inovia)

Depuis 2014, un redressement des surfaces des légumineuses à graines s'amorce (notamment pour le soja), lié en partie à la volonté des pouvoirs publics français de développer ces cultures (« plans protéines » successifs). (Lacampagne, 2019), comme en témoigne la stratégie nationale en faveur du développement des protéines végétales, annoncée en décembre 2020, dans le cadre du plan France Relance. Ce programme, baptisé Cap Protéines (janvier 2021-décembre 2022), est piloté en partie par Terres Inovia. L'objectif est de réduire la dépendance de la France aux importations de protéines végétales, d'améliorer l'autonomie alimentaire des élevages et de développer une offre de produits locaux en matière de légumineuses pour l'alimentation humaine.

De plus, les légumineuses à graines, grâce à leur indépendance à l'azote, se positionnent parmi les 10 leviers majeurs pour limiter les émissions de gaz à effet de serre en agriculture (Pellerin et al. 2013). Dans un contexte de décarbonation des activités humaines, d'entrée sur le marché carbone de l'agriculture mais également de limitation de la pollution des eaux, ces cultures apportent un réel bénéfice écologique.

b. Dynamique du Nord-Est concernant ces cultures

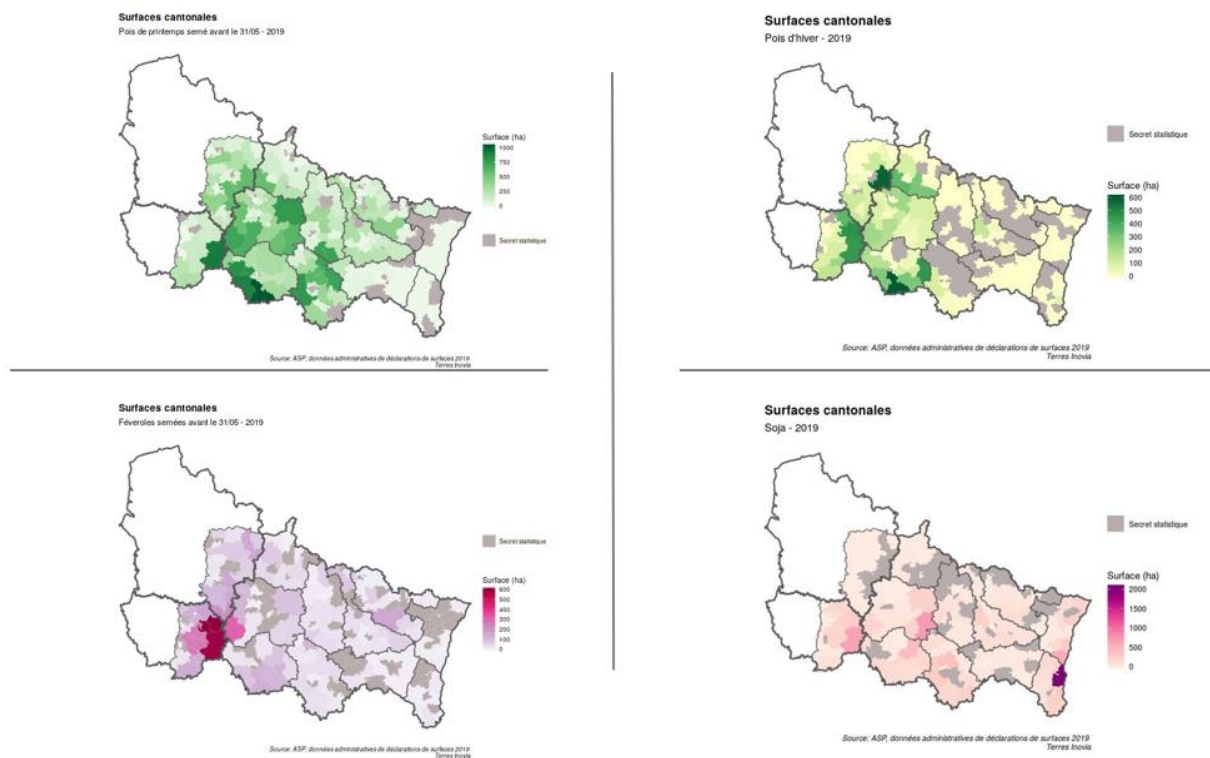


Figure 6 : Cartes des surfaces cantonales du pois de printemps, pois d'hiver, féveroles et soja en 2019 (ASP, données administratives de déclarations de surfaces 2019, Terres Inovia)

Le Nord-Est de la France est un bassin historique de production de légumineuses à graines. Avec 13 % des surfaces de protéagineux en France, le Grand-Est et les départements voisins et principalement les départements de la Marne, de l'Aube et de l'Aisne, sont des territoires très dynamiques pour la production et la transformation du pois protéagineux. A l'Ouest, la Seine et Marne est un bassin historique de la production de féverole. En 2017 le département rassemblait 10% des surfaces françaises pour cette légumineuse. (Agreste Ile-de-France, 2017) Plus à l'Est, en Plaine d'Alsace, c'est la culture du soja, un oléoprotéagineux classé dans les légumineuses à graines, qui est implanté dans la plupart des exploitations, notamment à destination du marché de l'alimentation humaine. (Agreste Grand-Est, 2021)

Cependant, les contraintes biotiques (maladies du sol, bruches de la féverole, ...) et abiotiques contribuent à l'instabilité des productions de protéagineux dans le territoire ces dernières années, malgré les potentiels bénéfiques de ces cultures pour les systèmes de production.

c. Contexte de l'étude

Une analyse, menée par la Chambre d'Agriculture du Grand Est, a mis en lumière l'impact significatif des apports d'engrais azotés de synthèse dans le bilan énergétique global, représentant en moyenne 50% des consommations d'énergies totales des exploitations en grandes cultures de la région. Dans ce contexte, l'optimisation de la fertilisation azotée est indispensable, elle consiste à rendre les systèmes de culture plus autonomes en azote, et cela peut se faire à l'échelle :

- De la culture, en jouant sur le raisonnement de l'apport au plus près des besoins des cultures (fractionnement, dose, conditions d'apport, etc.) ;
- De la rotation, en introduisant des cultures fixatrices d'azotes atmosphériques : les légumineuses ;
- De l'agroécosystème, en améliorant la fertilité des sols sur le long terme grâce à la valorisation de la matière organique.

Le Programme Agronomique Régional pour la Transition Agro-écologique en Grand-Est (PARTAGE), qui se déroule de septembre 2019 à septembre 2022, vise à répondre à cette problématique. Il s'agit d'un projet de Partenariat Européen à l'Innovation (PEI) coordonné par la Chambre Régionale d'Agriculture du Grand-Est et impliquant 18 partenaires du territoire, dont Terres Inovia. Le territoire du PEI PARTAGE comprend la région Grand-Est, l'Aisne et la Seine-et-Marne.

Terres Inovia est l'institut technique de référence des professionnels de la filière des huiles et des protéines végétales et de la filière chanvre. En charge de la recherche technique et du développement des cultures oléoprotéagineuses, Terres Inovia, accompagne aussi les acteurs de terrain dans la mise en place de nouvelles cultures, notamment en travaillant sur les adaptations des itinéraires techniques aux besoins des régions. Impliqué dans le projet PEI PARTAGE, l'institut technique est pilote du 2^{ème} axe du projet dédié à une meilleure intégration des légumineuses dans les systèmes de production du Grand-Est.

Mon stage s'intègre dans cet axe et vise à évaluer les impacts agroéconomiques et environnementaux de l'insertion des légumineuses à graines dans les systèmes de cultures du Nord-Est de la France.

L'objectif de ce travail est multiple. Dans un premier temps, il s'agit de comparer les performances agroéconomiques et environnementales des systèmes de cultures avec ou sans légumineuses à graines dans le contexte local du Nord-Est. Dans un second temps, le but est d'identifier les conditions de réussites et les bénéfices de l'introduction des légumineuses à graines dans les systèmes de cultures du Nord-Est.

Table des matières

Introduction	2
<i>I. Contexte et enjeux du développement des légumineuses à graines dans le Nord-Est de la France</i>	<i>2</i>
a. Contexte et enjeux du développement des légumineuses à graines	2
b. Dynamique du Nord-Est concernant ces cultures	3
c. Contexte de l'étude	4
<i>II. La problématique et les hypothèses</i>	<i>8</i>
a. La problématique du stage	8
b. Les hypothèses de l'étude	8
c. La démarche suivie	8
<i>III. Méthode de conception des fermes-types</i>	<i>8</i>
a. Pourquoi utiliser des fermes-types ?	9
b. Diagnostic territorial : choix des territoires étudiés	9
c. Méthode de construction des fermes-types	10
d. Les références utilisées pour la construction des fermes-types	10
e. Les hypothèses retenues	11
f. Choix de la manière d'insérer les légumineuses à graines	11
g. Evaluation des fermes-types sur le logiciel Systerre®	12
i. Présentation du logiciel Systerre®	12
ii. Description des indicateurs	12
1. A quelle échelle étudier les fermes-types ?	12
2. Les indicateurs étudiés	12
<i>IV. Les résultats de l'étude</i>	<i>13</i>
a. Les légumineuses à graines : des atouts agronomiques et environnementaux indéniables	13
i. Les intérêts à la culture	13
ii. Les effets précédents	14
iii. Les effets rotations.....	15
iv. Une gestion des risques nécessaire	15
b. Présentation des fermes-types étudiées.....	16
i. La ferme-type Champagne Crayeuse	16
ii. La ferme-type Barrois.....	17
iii. La ferme-type Champagne Humide	18
iv. La ferme-type Brie.....	19
c. Caractérisation des fermes-types.....	20
<i>V. Interprétation des résultats par fermes-types</i>	<i>22</i>
a. Comparaison des fermes-types sans et avec insertion des légumineuses à graines	22
i. La ferme-type Champagne-Crayeuse	22
ii. La ferme-type Barrois.....	23
iii. La ferme-type Champagne humide.....	24
iv. La ferme-type Brie.....	25
1. Insertion d'une féverole de printemps	25
2. Insertion d'un pois d'hiver	27
b. Analyse de sensibilité des fermes-types.....	28
i. Quel prix de vente pour la légumineuse ?	28
1. Le pois protéagineux.....	29
1. La féverole	30
iii. Sensibilité des fermes-types aux effets précédents considérés.....	32
iv. Simulation en fertilisation azotée réduite : cas de la ferme-type barrois en rotation courte Erreur ! Signet non défini.	
<i>VI. Discussion, limites et perspectives de l'étude</i>	<i>33</i>
a. Quels intérêts environnementaux et agroéconomiques de l'insertion des légumineuses à graines dans les systèmes de cultures du Nord-Est ?	33

i.	Les légumineuses à graines : des bénéfices environnementaux pour les systèmes de cultures du Nord-Est	33
ii.	Une diversification des systèmes de culture à fort enjeu nutritionnel	34
iii.	Une réussite économique variable selon le contexte	34
b.	Quelles conditions de réussites pour l’insertion des légumineuses à graines ?.....	35
i.	Un choix adapté de la légumineuse	35
ii.	La stabilisation de la production	36
iii.	Un prix attractif pour la légumineuse	36
iv.	Une meilleure valorisation des bénéfices à l’échelle du système de culture	37
c.	Limites et perspectives de l’étude	38
i.	Les limites de la méthodologie.....	38
ii.	Les limites du logiciel Systemre®	38
iii.	Les limites des fermes-types	39
	Références bibliographiques	41
	Annexe	43

II. La problématique et les hypothèses

a. La problématique du stage

Le contexte pédoclimatique et économique régional conditionne la réussite économique de l'insertion d'une nouvelle culture dans une rotation. Ainsi, il est nécessaire de mieux cerner les pratiques et les performances territoriales à l'échelle de la culture et du système de culture, pour garantir une insertion durable des légumineuses à graines dans le Nord-Est.

C'est dans cet objectif que nous allons ici tenter de répondre à la problématique :

Quels intérêts agro-économiques et environnementaux de l'insertion des légumineuses à graines dans les systèmes de cultures du Nord-Est de la France ?

Une fois cette problématique établie plusieurs sous-questions se posent pour définir le cadre de l'étude :

- Quels systèmes de cultures étudier et comparer ?
- Quelles légumineuses à graines intégrer aux systèmes de cultures ?
- Comment insérer les légumineuses à graines dans ces systèmes de cultures ?
- Quelles hypothèses agro-économiques (effets des légumineuses, prix, etc.) considérer ?
- A quelle échelle évaluer ces systèmes de cultures : parcelle, rotation de culture, exploitation ?

Préalablement à l'exposé des résultats de l'étude, une description de la méthodologie suivie et des hypothèses considérées est réalisée afin de clarifier ces interrogations.

b. Les hypothèses de l'étude

Dans la littérature, de nombreuses publications révèlent que l'introduction d'une légumineuse à graines dans un système de culture contribue à réduire une série d'impacts environnementaux : réduction des émissions de GES liée à une moindre fertilisation azotée, diminution de la consommation d'énergie fossile, meilleure gestion de la lixiviation des nitrates. De plus, la légumineuse contribue à des bénéfices agronomiques sur l'exploitation via une meilleure gestion des adventices, diminution des pressions parasitaires sur les autres cultures, amélioration de la structure du sol.

Les atouts agro-environnementaux des légumineuses (diminution des engrais azotés sur la culture suivante, amélioration des rendements) ne peuvent être valorisés économiquement dans une évaluation annuelle des marges agricoles. (Magrini, 2016) L'intérêt économique d'une légumineuse à graines se perçoit à l'échelle de la culture et de la succession culturale en intégrant tout particulièrement les effets « précédents » de cette culture. Il est donc nécessaire d'étudier l'impact de l'insertion de la légumineuse à l'échelle du système de culture.

c. La démarche suivie

En s'appuyant sur les pratiques des exploitations agricoles caractérisées du Nord-Est, il s'agit de tester la modification des systèmes de cultures via l'insertion d'une légumineuse à graines. L'objectif n'est pas de comprendre la logique des exploitations agricoles mais d'évaluer et de quantifier d'un point de vue technique, économique et environnemental, les conséquences de l'insertion des légumineuses dans les systèmes existants. La finalité de l'évaluation est de faire des simulations sur le changement de pratiques, en s'appuyant sur la réalisation et l'analyse de fermes-types du Nord Est via l'outil d'évaluation multicritère : Systerre®.

III. Méthode de conception des fermes-types

a. Pourquoi utiliser des fermes-types ?

Il existe une diversité de pratiques agricoles. Afin de nous affranchir de cette variabilité, nous avons construit, à dire d'expert, pour chaque contexte pédoclimatique identifié, une ferme-type.

Ces fermes-types sont des exemples de situations moyennes qui se veulent proches de la réalité en conservant une cohérence technique de l'exploitation. L'étude de cas-types permet de répondre à plusieurs objectifs en accord avec l'étude :

- En décrivant de manière synthétique la diversité des systèmes de production, ils permettent d'acquérir de nombreuses références technico-économiques à l'échelle des systèmes de cultures ;
- En complément de ces référentiels, ils peuvent servir de support à des analyses de sensibilité aux contextes économiques ou réglementaires.

Les fermes-types sont des représentations de systèmes agricoles. Elles sont des exemples de situations mais n'ont pas de valeur de représentativité statistique. (Bouviala, 2012)

b. Diagnostic territorial : choix des territoires étudiés

Le territoire du PEI PARTAGE inclut la région Grand-Est ainsi que les départements de l'Aisne et de la Seine-et-Marne. (Figure 7) Les conditions pédoclimatiques permettent de distinguer cinq régions agricoles principales : le Brie et Tardenois (en rouge), la Champagne crayeuse (en cyan), la Champagne Humide (en vert foncé), les plateaux calcaires du Nord-Est (en beige), les plaines et dépressions argileuses du Nord-Est (en vert clair) et la Plaine d'Alsace (en gris).

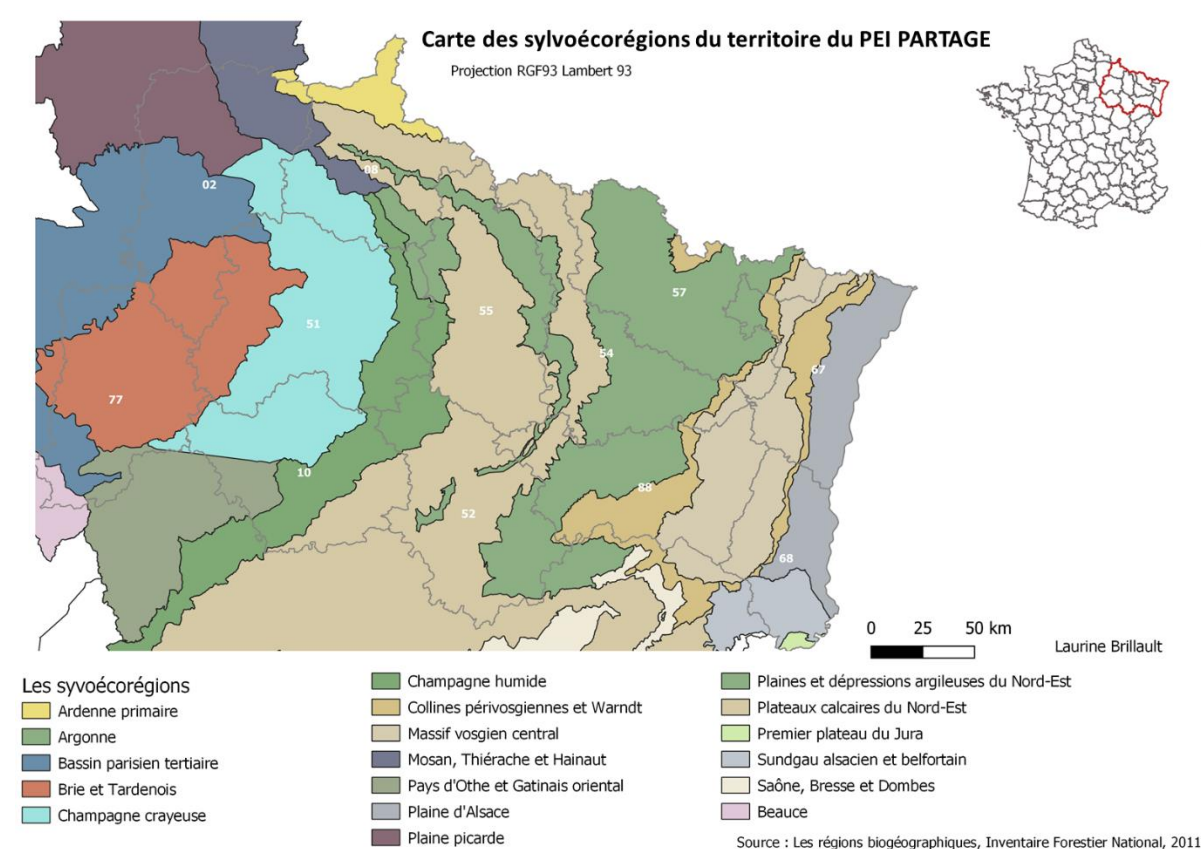


Figure 7 : Carte des sylvoécocorégions du Nord Est (personnelle avec les données de (Inventaire Forestier National, 2011))

En raison des similitudes dans les contextes pédoclimatiques de la Champagne Humide et des plaines et dépressions argileuses du Nord-Est, sols profonds à texture argilo-limoneuse à tendance hydromorphe, nous nous focaliserons sur le cas de la Champagne Humide dans le cadre de cette étude.

En Plaine d'Alsace, le soja est bien implanté dans des systèmes irrigués dominés par la culture de maïs grain. L'insertion du soja en Grand-Est est déjà étudiée dans le cadre d'un autre projet, le PEI ARPEEGE. De plus, en l'absence d'accès à la ferme-type « Alsace » d'Arvalis additionné aux contraintes de temps, l'étude d'une ferme-type en Plaine d'Alsace n'a pas pu être réalisée.

c. Méthode de construction des fermes-types

Une fois que le contexte pédoclimatique et économique de la ferme-type est défini, les caractéristiques générales du cas-type telle que la SAU et la main-d'œuvre sont définies. Ensuite, les cultures sont choisies en cohérence avec le contexte et les caractéristiques de l'exploitation (ex : présence d'une sucrerie pour la betterave sucrière). Pour chacune des cultures, l'itinéraire technique et le rendement sont déterminés en fonction du territoire considéré, des contraintes du cas-type, de la rotation retenue et de son précédent de culture. Le choix du parc matériel se fait en correspondance avec les cultures et les itinéraires techniques pratiqués. Enfin, les données économiques complémentaires sont définies : fermage, montant des aides, prix des intrants, prix de vente des cultures, etc. (Bouviala, 2012)

d. Les références utilisées pour la construction des fermes-types

En se basant sur les fermes-types Systerre® d'Arvalis, sur les références existantes (enquêtes agriculteurs, fiches techniques) et sur des entretiens ciblés avec des experts agricoles (ingénieurs régionaux des instituts techniques, responsables du CER France), des rotations et des itinéraires techniques sont proposés. Puis, à chaque étape de la construction des cas-types, des échanges approfondis sont réalisés avec des d'experts locaux (conseillers agricoles, ingénieur en agronomie, etc.). À la suite des premières simulations des fermes-types, des entretiens auprès d'agriculteurs sont effectués pour stabiliser les hypothèses techniques et confronter les premiers résultats économiques à la réalité du terrain. Ces allers-retours avec les différents partenaires concernés ont permis d'assurer la cohérence de chaque ferme-type et l'homogénéité des données.

La création de ferme-type entière peut s'avérer très consommatrice de temps. Ainsi il a été convenu, que les cas-types réalisés s'appuient sur des Fermes-Types (FT) préexistantes dans l'outil Systerre® d'Arvalis. Ces FT créées et mises à jour par Arvalis sont des exploitations fictives et à priori pérennes dans le temps sur le plan technico-économique. Elles sont représentatives d'un système de production en lien avec un contexte pédoclimatique précis. Les FT sont créés à partir des données issues des recensements agricoles correspondant aux exploitations en grandes cultures de la région agricole. En fonction des surfaces de chaque culture, les experts d'Arvalis définissent l'assolement de la FT, et construisent les rotations de cultures proches de ce qui est observé dans le territoire. Ainsi, plusieurs parcellaires et types de rotations peuvent être présents au sein d'une même FT. Il existe une cohérence entre les cultures en place sur l'exploitation, les surfaces mises en jeu, la main d'œuvre, le parc matériel et les itinéraires techniques suivis.

Trois Fermes-Types de Systerre® ont été utilisées dans le cadre de cette étude : la Ferme-Type « Barrois », la Ferme Type « Champagne Crayeuse » et la Ferme Type « Beauce Sec ». L'absence de certaines Fermes-Types correspondant aux cas-types étudiés a nécessité une adaptation des Fermes-Types initiales de Systerre®. En effet, la Ferme-Type « Beauce Sec » a servi de support à la ferme-type « Brie » et la Ferme-Type « Barrois » a été utilisé pour la ferme-type « Champagne Humide ».

Afin de faciliter la comparaison des fermes-types sans et avec légumineuse et de rendre plus visible les effets de l'insertion de la légumineuse, une simplification des Fermes-Types initiales d'Arvalis est réalisée. Seulement un type de parcellaire et une ou deux rotations par ferme-type sont retenus à la suite des discussions avec les experts locaux. Pour évaluer la rentabilité économique des rotations à l'hectare, nous fixons l'assolement égal à la rotation. De plus, pour que les conseillers agricoles et les agriculteurs locaux puissent s'identifier aux fermes-types étudiées, il a été choisi d'adapter les itinéraires techniques des cultures aux remarques collectées au cours des entretiens.

e. Les hypothèses retenues

Quelques hypothèses agro-économiques complémentaires pour la réalisation des fermes-types ont dû être prises. Plusieurs sources ont été utilisées, afin de recouper et vérifier ces références, puis ces valeurs ont été validées par les experts locaux.

Seules les exploitations spécialisées en grandes cultures sans interaction avec l'élevage sont étudiées dans le cadre de cette étude et ceci pour plusieurs raisons : prédominance d'exploitations en grandes cultures dans région Grand-Est, complexité à appréhender les répercussions économiques des légumineuses dans les systèmes en polyculture-élevage et l'avantage agronomique pour les systèmes céréaliers avec moins de cultures de diversification envisageables.

Afin que les conseillers agricoles et les agriculteurs locaux puissent s'identifier aux fermes-types étudiées, les rotations-types et les itinéraires techniques sont établis au plus proches des pratiques agricoles caractéristiques des territoires étudiés, et non sur des pratiques innovantes émergentes. Les rotations et les itinéraires techniques considérés, pour chacune des fermes-types, sont présentés dans la suite de ce document.

L'aide couplée des protéagineux (pois et féverole) considéré est de 149 €/ha, il s'agit de la moyenne des aides couplées des protéagineux de 2016 à 2020.

Les hypothèses de rendements (Tableau 1) et de prix de ventes des cultures (Tableau 2), pour chacune des fermes-types étudiées, s'appuient sur plusieurs sources de données qui ont ensuite été validées par des experts locaux.

	Pois d'hiver	Pois de printemps	Féverole de printemps	Blé de colza	Orge d'hiver	Orge de printemps	Colza	Tournesol	Betterave	Maïs grain
FT Champagne Crayeuse	46	37		93	79	70	32		860	
FT Barrois		32		67	61	48	28	23		
FT Champagne Humide		33		77	69	63	30	28		81
FT Brie	46		35	86	75	70	35			90

Tableau 1 : Rendements moyens (q/ha) des cultures considérées dans les fermes-types (Rendements moyens (2011 – 2019-20) sans extremum – Synthèse des pratiques culturales – Végéllia – Juin 2020 ; adaptés aux dires d'experts locaux)

	Pois protéagineux			Féverole		Colza	Tournesol	Blé tendre	Orge		Maïs grain	Betterave
	AA	AH	Pois vert	AA	pisciculture		oléique		brassicole	fourragère		
Prix moyens (€/t)	193	233	280	182	225	360	340	155	175	155	135	24

Tableau 2: Prix de vente moyens des cultures considérés dans les fermes-types (Prix indicatif (moyenne 2016-2020), V. Lecomte, Terres Inovia, Juin 2021 ; adaptés aux dires d'experts locaux) AA : Alimentation Animale / AH : Alimentation Humaine

f. Choix de la manière d'insérer les légumineuses à graines

Pour faciliter l'identification des acteurs locaux aux fermes-types étudiées et pour pouvoir se baser sur des références locales (potentiels de rendement, itinéraires techniques), il été choisi de tester l'insertion de légumineuses à graines déjà cultivée sur les territoires. Pour chacune des fermes-types une explication accompagne le choix de la légumineuse introduite dans la suite de ce rapport.

La conception des systèmes de cultures, sans et avec légumineuses, s'est réalisée en concertation avec les experts locaux. Notamment afin d'établir la place de la légumineuse à graines dans la rotation, son itinéraire technique et les changements induits sur les autres cultures.

Afin de rester au plus proche de la réalité agricole perçue au cours des entretiens, l'insertion de la légumineuse à graines est toujours suivie d'un blé assolé. En effet, cette culture est considérée comme une tête de rotation par les agriculteurs, et pour valoriser ses bénéfices agronomiques, ils préfèrent la placer avant un blé tendre. De plus, cette position facilite la prise en compte des effets précédents de la légumineuse, mieux connus sur la culture du blé tendre. Ces hypothèses sur les effets précédents ont été établis grâce aux travaux disponibles dans la littérature. Une analyse de sensibilité de la rentabilité économique vis-à-vis des effets précédents considérés a été réalisée.

g. Evaluation des fermes-types sur le logiciel Systerre®

i. Présentation du logiciel Systerre®

Une évaluation multicritère est réalisée sur les fermes-types à l'aide du logiciel Systerre®, un outil d'aide à l'expertise des systèmes de cultures développé par Arvalis – Institut du végétal. L'intérêt de l'analyse multicritère réside dans sa capacité à offrir une vision globale du système de production.



L'outil Systerre® est utilisé pour évaluer les performances techniques, économiques et environnementales des productions végétales préférentiellement sur une exploitation de grande culture. (Jouy, 2011) Prenant appui sur le logiciel Access® de la gamme Microsoft Office, il permet l'accès à la base de données comprenant les fermes types réalisées par Arvalis ou la création de ses propres exploitations lors d'enquêtes terrain par ex.. Systerre permet de décrire de façon détaillée le système de production, les itinéraires techniques, les prix des intrants et les prix de ventes des cultures. L'une des principales utilisations de l'outil Systerre est de caractériser les pratiques existantes sur les exploitations agricoles et de tester la modification d'itinéraire technique ou de systèmes de cultures. C'est cette deuxième option qui a été utilisée dans le cadre de cette étude.

Le principal intérêt de l'utilisation du logiciel Systerre® est de permettre l'évaluation de la performance d'une exploitation via le calcul d'une trentaine d'indicateurs de nature technique (temps de travail, etc.), économique (marges, charges opérationnelles, etc.) ou environnementale (émissions de gaz à effet de serre, ITF, etc.). (Jouy, 2011) Le point fort du logiciel réside en sa facilité de prise en main tout en rendant possible le calcul d'une diversité d'indicateurs à différentes échelles (parcelle, sole, système de culture, exploitation). Il nécessite la collecte et la description de l'ensemble des pratiques culturales du système de cultures pour permettre le calcul des indicateurs.

ii. Description des indicateurs

1. A quelle échelle étudier les fermes-types ?

Dans Systerre®, l'itinéraire technique d'une culture commence à la récolte du précédent, ainsi l'ensemble de charges (cultures intermédiaires, engrais de fond, broyage des cailloux, etc.) est imputé aux cultures qui les reçoivent bien que ces charges puissent être bénéfiques à l'ensemble de la rotation. Pour faciliter l'évaluation des fermes-types, nous fixons l'assolement égal à la rotation. Ainsi, l'évaluation des indicateurs à l'échelle du système de culture est identique à l'évaluation à l'échelle de l'exploitation sur une année.

2. Les indicateurs étudiés

Les indicateurs économiques, énergétiques, sociaux et environnementaux, calculés par l'outil Systerre, sont comparés pour les fermes-types sans ou avec une légumineuse à graines. La description de l'ensemble des indicateurs étudiés au cours de cette étude sont proposés en Annexe 1.

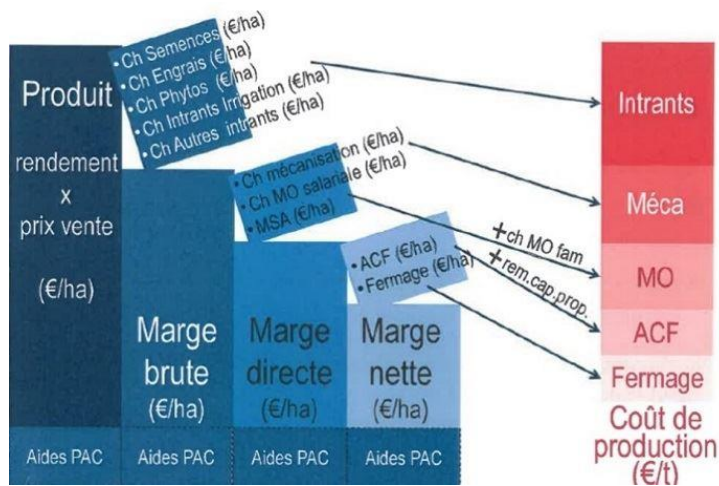


Figure 8 : Indicateurs économiques pour percevoir la rentabilité d'un système de culture (Berrodier, 2021)

En complément des indicateurs énergétiques calculés automatiquement par Systerre® (Figure 8), des indicateurs sur la production de protéines végétales dans les fermes-types ont été calculés. L'utilisation de ces indices a pour but de fournir une image plus équilibrée de l'efficacité nutritionnelle des systèmes de cultures. (Marcela P. Costa, 2021)

- Le 1er indicateur calcule la production moyenne de protéines végétales totales (en t/ha).

Rendement moyen de protéines végétales par ha (t de protéines végétales/ha) :

$$\frac{\sum (\text{rendement moyen aux normes de la culture } i \times \% \text{ protéines aux normes de la culture } i \times \text{Surface de la culture } i)}{\text{SAU totale de la ferme}}$$

- Le 2nd indicateur reflète la proportion de Matières Riches en Protéines (MRP) au sein de protéines végétales produites. Les MRP) sont des matières premières dont la teneur en protéines est supérieure à 15% de la matière sèche (MS). L'intégration de MRP est indispensable pour équilibrer des rations animales, il s'agit donc d'un enjeu fort pour l'autonomie protéique. Seules les graines des légumineuses et des oléagineux sont considérées comme des MRP.

Une fois que les cinq fermes-types et l'insertion de la légumineuse à graines sont définis, il est possible de passer au calcul et à l'analyse comparée des indicateurs de ces fermes-types.

Pourcentage de Matières Riches en Protéines (MRP) au sein de la production en protéines végétales :

$$\frac{\sum \text{Production de protéines végétales en MRP}}{\text{Production totale de protéines végétales sur la ferme}}$$

IV. Les résultats de l'étude

- a. Légumineuses à graines : atouts agronomiques et environnementaux indéniables

i. Les intérêts à la culture

La fixation symbiotique varie en fonction de l'espèce de légumineuse considérée (Figure 9). Ce mécanisme favorise l'apport d'azote organique au sol via les résidus de culture et améliore l'efficacité d'absorption de l'azote sur le blé suivant un pois (Carrouée, Schneider, Flénet, Jeuffroy, & Nemecek, 2012) L'absence de fertilisation azotée nécessaire à la production des légumineuses contribue à la

réduction des émissions de gaz à effet de serre (N₂O et CO₂) (Jensen, et al., 2012) et de la consommation d'énergie fossile de -50% par rapport à une culture fertilisée. (Nemecek, et al., 2008)

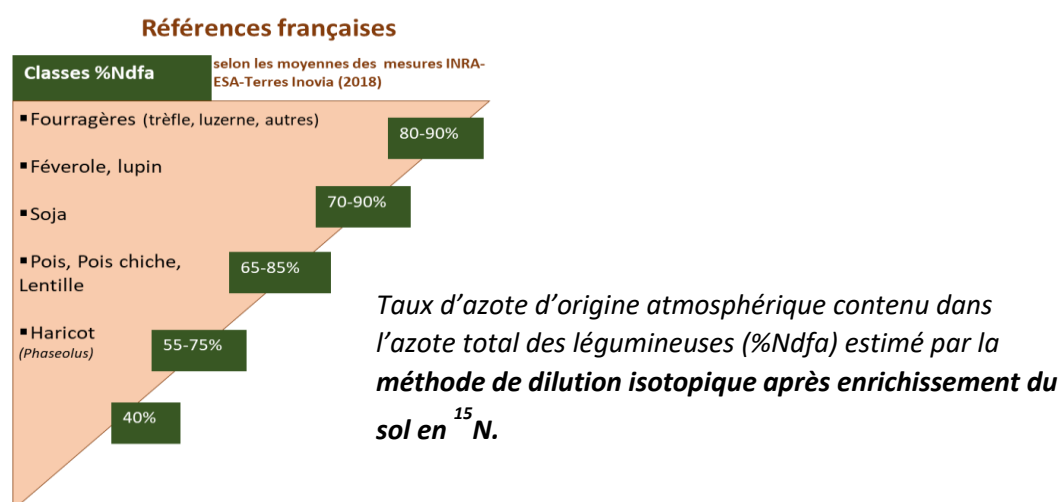


Figure 9 : Classification des légumineuses en fonction de la teneur en azote atmosphérique. (Schneider, 2021)

ii. Les effets précédents

D'après une méta-analyse réalisée à l'échelle européenne, les rendements des céréales cultivées après des légumineuses à graines sont supérieurs de +29% (effet significatif pour 13 des 16 espèces de légumineuses à graines analysées). Le pois protéagineux et la féverole font partie des légumineuses à graines qui conduisent aux plus forts gains de rendement des céréales suivantes. (Cernay, Makowski, Lescoat, & Pelzer, 2017) Cette étude a aussi mis en évidence que l'effet des cultures précédentes de légumineuses à graines décroît quand la dose de fertilisation azotée appliquée sur les céréales suivantes augmente, et devient négligeable quand la dose moyenne est supérieure à 150 kg N/ha. Or, en France, la dose moyenne de fertilisation en azote minéral appliquée sur l'orge, le blé et le maïs est estimée à 160 kg N/ha. (AGRESTE, 2014) A cette dose, l'effet positif des légumineuses à graines sur les rendements des céréales suivantes, est en moyenne inférieur à +10%. (Cernay, Makowski, Lescoat, & Pelzer, 2017)

En 2009, une statistique pluriannuelle réalisée sur 36 000 parcelles de blés suivis par le CER France, a mis en évidence l'effet positif du pois protéagineux sur le rendement du blé suivant (Figure 10). (Ballot, 2009) Ce gain est observé alors que la fertilisation azotée n'est pas limitante : il y a donc bien un « déplafonnement » du rendement du blé, probablement lié à un meilleur état sanitaire des racines. (Carrouée, Schneider, Flénet, Jeuffroy, & Nemecek, 2012) L'auteur souligne que malgré une variabilité interannuelle l'effet précédent semble indépendant du contexte pédoclimatique du territoire. Ces résultats sont considérés comme valeurs de référence dans le cadre de cette étude pour l'effet précédent du pois protéagineux et de la féverole.

Les outils d'aides à la décision (Réglette Azote Colza, Farmstar, méthode des bilans), préconisent tous une diminution de la fertilisation azotée après une légumineuse à graines. A dire d'experts, la valeur de - 25 N kg/ha pour un blé de pois par rapport à un blé de colza et de - 30 N kg/ha pour un blé de pois par rapport à un blé de blé est considéré dans l'étude. Des analyses de sensibilité ont été réalisées.

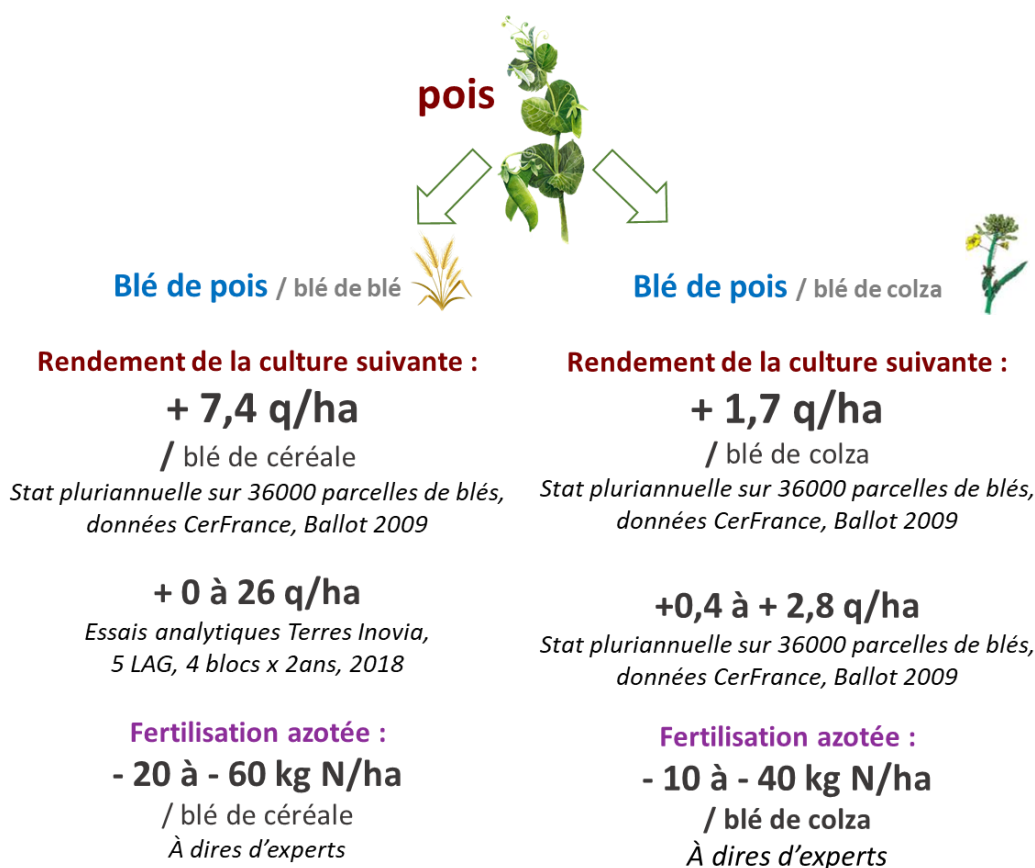


Figure 10 : Présentation des hypothèses des effets précédents du pois sur le blé suivant considéré pour l'étude. (personnelle)

De plus, grâce à leurs systèmes racinaires pivotants et la stimulation de l'activité microbienne, les légumineuses favorisent un sol fertile et une structure fine du sol, et ainsi une éventuelle réduction du travail du sol. Récoltés relativement tôt, pour le pois et la féverole, ces cultures laissent peu de résidus en surface, ce qui facilite l'implantation de la culture suivante. (Voisin, 2018)

iii. Les effets rotations

Les légumineuses à graines, via leur fonction de culture de diversification, permettent une rupture des cycles des maladies (ex : piétin échaudage (Colbach, Duby, Cavelier, & Meynard, 1997)), des ravageurs et des adventices à l'échelle du système de culture. Cet effet contribue à une réduction du recours aux produits phytosanitaires à l'échelle de la rotation. De plus, l'insertion d'une culture de diversification facilite l'alternance des matières actives utilisées, et donc une meilleure gestion des résistances des bioagresseurs. Cela doit contribuer, à terme, à limiter les traitements effectués sur l'ensemble de la sole de l'exploitation. (Schneider & Huyghe, 2015)

A l'échelle d'un territoire, l'introduction d'une nouvelle culture a pour conséquence de diversifier les assolements et donc d'apporter également une diversification de la faune et la flore sauvage. Ce qui contribue au développement de mécanismes de régulations (pollinisateurs, auxiliaires, etc.), pouvant constituer un moyen de réduire la pression de certains ravageurs, et donc l'usage de pesticides. (Rusch, Valantin-Morison, Sarthou, & Roger-Estrade, 2010)

iv. Une gestion des risques nécessaire

Les légumineuses peuvent présenter des risques agro-environnementaux devant être considérés pour optimiser leur insertion dans les systèmes de cultures.

Il existe notamment un risque de lixiviation du nitrate, à l'automne suivant la légumineuse, dépendant de la culture de la légumineuse (espèce et mode d'exploitation), du type de sol et du climat.

Pour le pois protéagineux, il y a un risque de lixiviation de 0 à 10kg N-NO₃ lixivié par hectare au 1^{er} hiver suivant. (Schneider & Huyghe, 2015) Ce risque est réduit par l’implantation rapide d’une culture intermédiaire ou une culture à forte capacité d’absorption à l’automne (ex : colza). (Plaza-Bonilla, Nolot, Raffailac, & Justes, 2015). Cependant, des essais ont mis en évidence que la meilleure efficacité d’utilisation de l’azote disponible pour la culture qui suit le pois, limite le stock d’azote minéral dans le sol et ainsi la perte de lixiviation le 2nd hiver d’un blé de pois en moyenne de 7 kg N-NO₃ lixivié/ha par rapport à un blé de blé. (Schneider & Huyghe, 2015)

La variabilité des rendements des légumineuses à graines est souvent soulignée comme le principal facteur limitant ces cultures. De plus, la gestion de certains bioagresseurs (aphanomyces du pois, fusariose), en l’absence de moyens de lutte efficaces, nécessite un temps de retour des légumineuses long et une alternance des espèces de légumineuses, ce qui limite leurs surfaces.

Dans le cadre de cette étude, la gestion des risques et les effets précédents induits par la légumineuse ont été intégrés à la construction des fermes-types du Nord-Est. Les effets à l’échelle de la rotation, difficilement caractérisables et propres à chacun des systèmes, n’ont pas été intégrés.

b. Présentation des fermes-types étudiées

Dans le temps imparti, nous avons choisi de considérer sur quatre territoires pédoclimatiques cinq fermes-types où sera testé l’insertion d’une ou deux légumineuses à graines. (Figure 11) Les fermes-types regroupent l’ensemble des informations qui caractérisent une exploitation agricole. Les itinéraires techniques des principales cultures sont présentés dans l’Annexe 1.

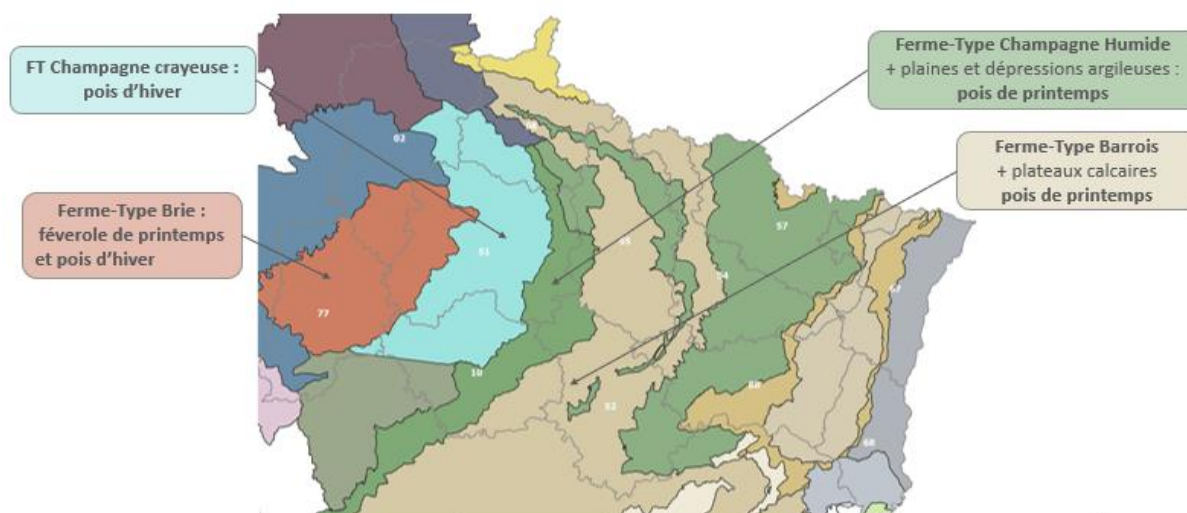


Figure 11 : Carte présentant les fermes-types étudiées et les légumineuses à graines testées.

i. La ferme-type Champagne Crayeuse

La construction de cette ferme-type se base sur les informations issues de la Ferme-Type « Champagne-Crayeuse » d’ARVALIS, et sur les entretiens réalisés / Etienne Mignot (Vivescia), Marine Henry (CA 51), Bérénice Guyot (CA 10), Jonathan Majerus (ITB) et Florent Debroye (agriculteur)

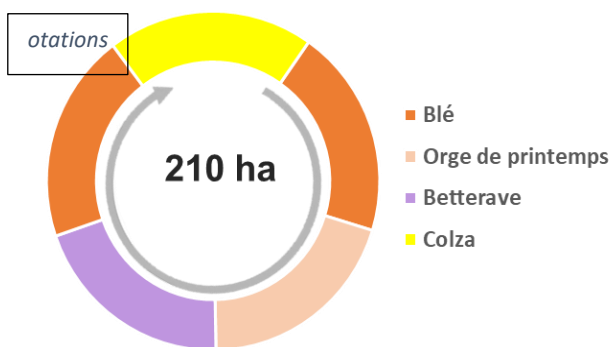


Figure 12: Rotation de la ferme type Champagne crayeuse

par certaines cultures comme la betterave sucrière. La rotation sur 5 ans est plutôt diversifiée, et la succession de deux cultures de printemps permet de casser le cycle des adventices. (Figure 12) La pratique du labour pour détruire les couverts d'intercultures est très présente sur le territoire. Il a été considéré ici un arrachage précoce de la betterave permettant, après le passage d'une charrue, l'implantation d'un blé tendre d'hiver. Ces dernières années, les difficultés d'implantation et la pression des bioagresseurs du colza, limitent les rendements ce qui impacte sur les résultats économiques de cette culture.

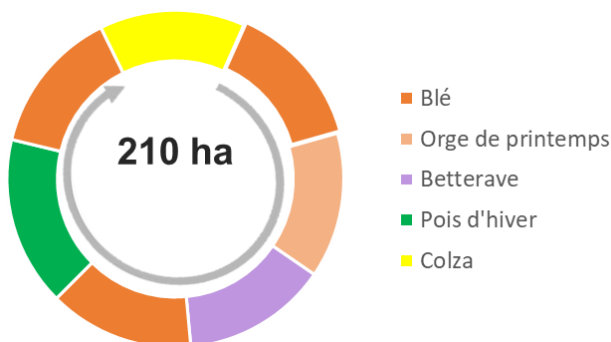


Figure 13: Rotation de la ferme type Champagne crayeuse avec insertion d'un pois d'hiver

agronomiques du pois sur une culture à fort enjeu économique comme le blé tendre. (Figure 13) La luzerne, légumineuse fourragère, cultivée en Champagne Crayeuse, n'a pas été prise en compte dans cette étude dédiée aux légumineuses à graines.

ii. La ferme-type Barrois

La ferme-type Barrois s'appuie sur la Ferme-type « Barrois » fourni par ARVALIS ainsi que sur les entretiens menés auprès de : Antonio Pereira (CA 52), Claude Rettel (CA 57), Romain Baudon (SEPA), Freddy Gibier (agriculteur) et Michel Basset (agriculteur).

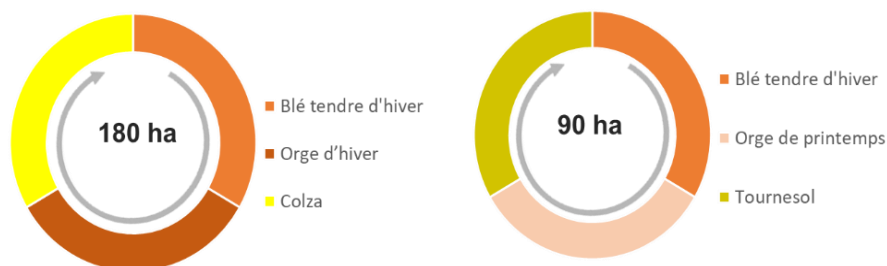


Figure 14: Rotations de la ferme-type Barrois.

La ferme-type Champagne-crayeuse est une exploitation de 210 hectares située au cœur d'une des principales régions de grandes cultures françaises. L'excellente valeur agronomique des sols, liée à leur facilité de travail et à leur forte rétention en eau, est favorable à une diversité de cultures et des potentiels de rendements élevés. Un agriculteur et un salarié, soit deux UTH (Unité de Travail Humain), sont considérés sur cette ferme-type en lien avec la charge de travail engendrée

Le pois d'hiver est une légumineuse à graines, présente sur le territoire et dont les surfaces sont en forte augmentation ces dernières années, en raison d'une meilleure adaptation au froid des nouvelles variétés, du potentiel de rendement plus important en moyenne que le pois de printemps et de son débouché en alimentation humaine possible. Le pois d'hiver se sème début novembre et se récolte début juillet, l'itinéraire technique complet est décrit en Annexe 1. Le pois d'hiver est le plus souvent implanté avant un blé afin de ne pas « perdre » une tête de rotation et optimiser les intérêts

La ferme-type Barrois, de 270 hectares, est située au cœur des plateaux calcaires du Nord-Est au sein de la petite région agricole du Barrois. Les sols argilo-calcaires moyennement profonds, non-hydromorphes et avec une présence importante de cailloux, ont des potentiels agronomiques limités. L'élevage, bien que présent sur ce territoire, n'a pas été pris en compte dans cette étude. Les faibles réserves hydriques de ces sols peu profonds compliquent le développement de cultures sensibles aux sécheresses estivales. La simplification des rotations sur ce territoire induit des problématiques agronomiques tels que le développement de vulpins résistants. La pratique du broyage de cailloux est répandue dans le secteur, il est considéré ici tous les 5 ans, en raison de l'absence de labour. Deux rotations sont considérées pour prendre en compte la diminution de la sole de colza sur le secteur ces dernières années, celui-ci le plus souvent substitué par du tournesol. (Figure 14)

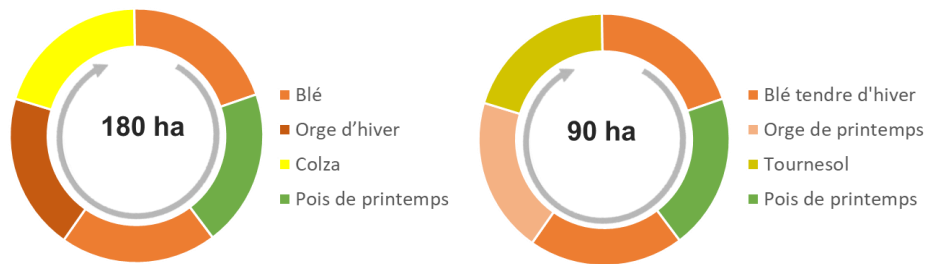


Figure 15 : Rotations de la ferme-type Barrois avec insertion d'un pois de printemps.

Le pois de printemps est la légumineuse à graines la plus présente sur le territoire du Barrois. Il permet de couper les cycles des adventices d'hiver et de structurer le sol dans des systèmes pratiquant un travail du sol superficiel, comme dans ce cas-type. De plus, les gels hivernaux limitent le développement du pois d'hiver sur ce secteur souvent en altitude. Le pois de printemps se sème en février-mars et se récolte en juillet, l'itinéraire technique de la culture complet est décrit en Annexe 1. L'implantation d'un pois de printemps suivi d'un blé tendre contribue à allonger la rotation. (Figure 15) Certains collecteurs de la zone proposent des contrats filières en alimentation humaine permettant une majoration de la rémunération du pois de printemps.

iii. La ferme-type Champagne Humide

La ferme-type Champagne humide se fonde sur la Ferme-type « Barrois » d'ARVALIS adaptée à la suite des échanges avec : Romain Baudon (SEPAC), Claude Rettel (CA 57), Bérénice Guyot (CA 10), Joel Berthelemy (agriculteur), Fabien Obara (agriculteur) et Anne-Sophie Colart (Arvalis)

En raison des similitudes dans les contextes pédoclimatiques des plaines et dépressions argileuses du Nord-Est et de la Champagne Humide, il a été choisi de se focaliser sur l'exemple de la Champagne Humide dans le cadre de cette étude.

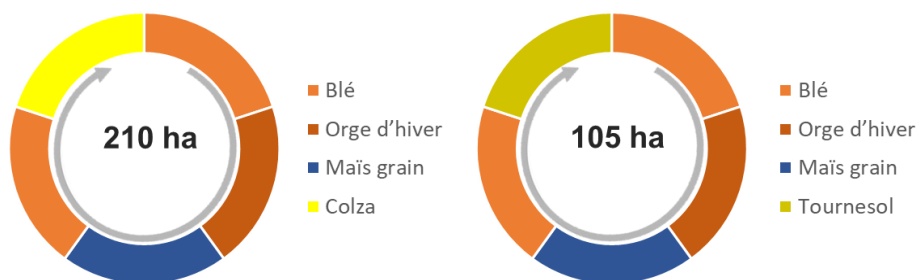


Figure 16: Rotations de la ferme-type Champagne humide.

La ferme-type Champagne Humide est située sur des sols profonds de texture argilo-limoneuses à tendance hydromorphe. L'exploitation de 315 hectares est divisée en deux îlots pour prendre en compte les difficultés des années passées sur la culture de colza substitué en partie par du tournesol sur le secteur. (Figure 16) La pratique d'un labour d'hiver tous les deux ou trois ans, sur ces terres argileuses et hydromorphes, permet de profiter du gel mécanique pour faire travailler le sol. La culture de maïs est présente sur ce territoire, il a été ici choisi de considérer un débouché maïs grain.

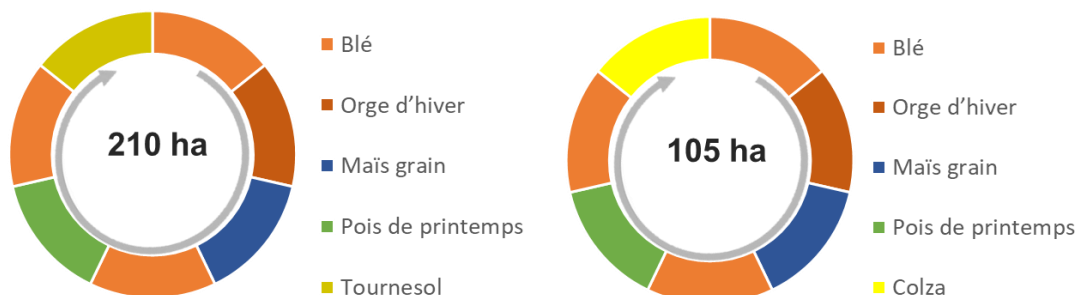


Figure 17 : Rotations de la ferme-type Champagne humide avec insertion d'un pois de printemps.

L'insertion du pois de printemps, principale légumineuse présente sur ce territoire, est testée dans cette ferme-type. (Figure 17) Les arguments du choix de cette légumineuse à graines sont similaires à ceux de la ferme-type Barrois. L'itinéraire technique suivi pour ce pois de printemps est décrit en Annexe 1. Il diffère de celui du pois de printemps de la ferme-type Barrois par la pratique d'un labour pour détruire l'interculture et par une densité de semis plus faible liée au meilleur potentiel agronomique du sol.

iv. La ferme-type Brie

Cette ferme-type s'établit sur la Ferme-type « Beauce Sec » d'ARVALIS, adaptée au contexte de la Brie grâce aux témoignages de : Louise Van Cranenbroeck (CA 77), Pierre-Alban Jacquet (Cérésia), Gautier Guerle (Cérésia), Frédéric Adam (Cérésia), Anne-Sophie Colart (Arvalis), Xavier Delaitre (Agriculteur) et Richard Bruggeman (Agriculteur).

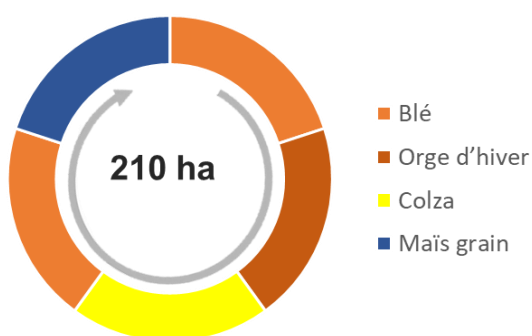


Figure 18: Rotation de la ferme-type Brie.

Cette ferme-type, considérée en Seine-et-Marne sur le plateau de la Brie, est une exploitation de 210 hectares. Les sols sont des limons argileux avec une tendance hydromorphe. Aucune parcelle de cette exploitation n'est considérée comme drainée, ce qui est le cas dans certains secteurs de la Brie. Les bons potentiels agronomiques, la variabilité des types de sols et le nombre important d'acteurs de la collecte et de la commercialisation sur ce secteur rendent possible un large panel de cultures, ce qui complique la caractérisation d'une ferme-type.

Déjà étudiée dans la ferme-type Champagne crayeuse et présente de façon plus marginale sur le secteur, la culture de betterave sucrière n'a pas été considérée dans cette ferme-type. Le maïs a été intégré à la rotation, il dispose de débouchés en maïs grains dans le secteur. Le colza, encore relativement peu impacté par les bioagresseurs dans ce secteur et considérant que les parcelles soient non-drainées, a été considéré sur l'ensemble des surfaces. (Figure 18)

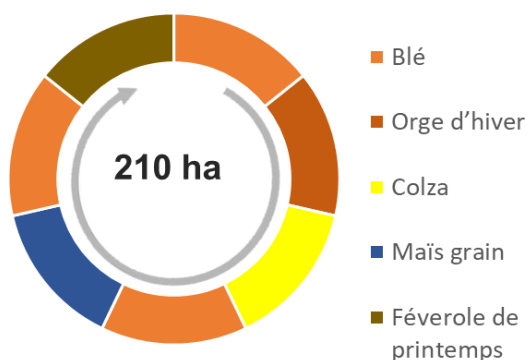


Figure 19: Rotation de la ferme-type Brie avec féverole de printemps.

etc.) ont fortement impacté les rendements et la qualité des graines conduisant à une moindre valorisation économique (perte du débouché alimentation humaine). Ces constats sont des freins au maintien actuel de cette culture dans le secteur.

Résistante à *Aphanomyces*, la féverole s'est développée par le passé comme une alternative au pois dans le territoire de la Brie touchée par cette maladie racinaire. La féverole de printemps est testée dans cette ferme-type, l'itinéraire technique détaillé est présenté en Annexe 1. Cette culture, plutôt présente sur les sols plus superficiels à moins bons potentiels, est réputée pour ses avantages agronomiques auprès des agriculteurs. Cependant la sensibilité de cette culture aux aléas climatiques et le développement de bioagresseurs (bruches, maladies racinaires,

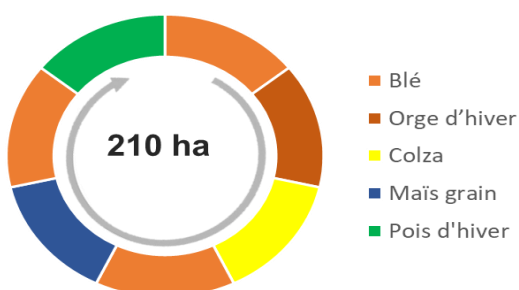


Figure 20: Rotation de la ferme-type Brie avec pois d'hiver.

La féverole de printemps peut être remplacée par du pois d'hiver dans ce secteur. La présence de débouché rémunérateur en contrat filière en alimentation humaine ou encore de débouchés de niche en pois vert, constituent de réelles opportunités pour le développement de cette culture. L'itinéraire technique du pois d'hiver considéré pour la ferme-type Brie est présenté en Annexe 1.

c. Caractérisation des fermes-types

Une fois ces fermes-types définies, il nous semble intéressant de confronter les résultats économiques obtenues vis-à-vis d'exploitations réelles sur les territoires étudiés.

Pour cette comparaison, nous avons choisi d'utiliser les résultats de l'analyse des exploitations de l'Aube et de la Haute-Marne du CER France CNEIDF pour l'édition 2020. Ces résultats ont l'avantage de trier les exploitations par région naturelle (Champagne Crayeuse, Champagne Humide, etc.) et par systèmes d'exploitation (Grandes cultures, polyculture-élevage, etc.). En l'absence de données, il n'a pas été possible de comparer la ferme-type Brie avec les résultats technico-économiques d'exploitations de ce territoire.

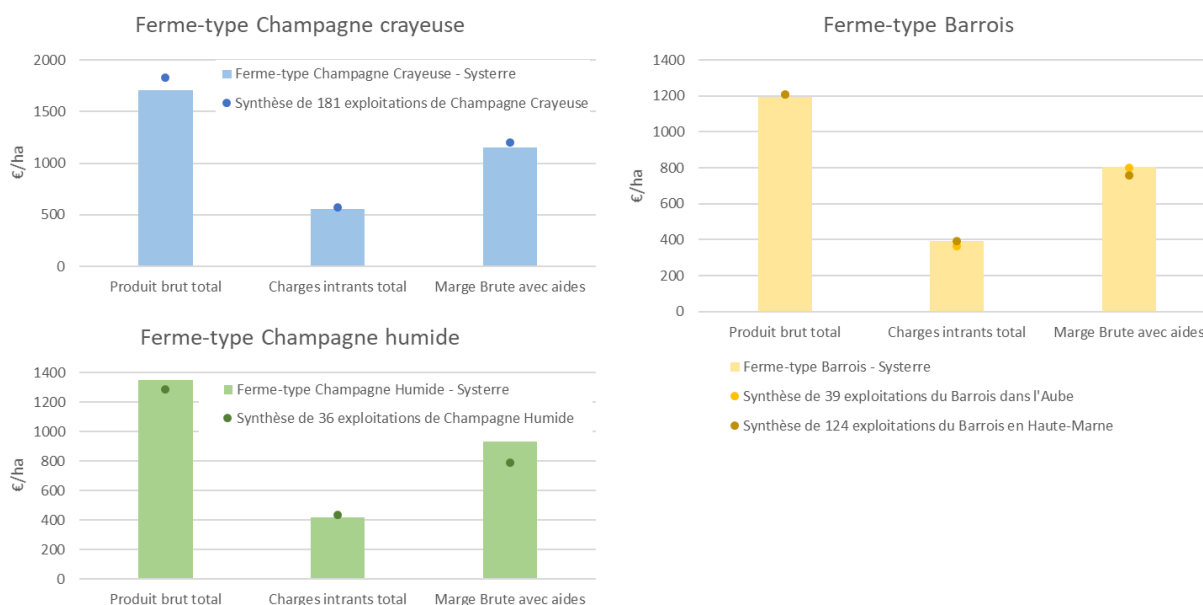


Figure 21: Comparaison des résultats économiques (Produit brut total, charges intrants total et marge brute avec aides) de trois fermes-types simulées sur Systerre par rapport aux résultats de l'analyse des exploitations par territoire du CER France CNEIDF réalisée en 2020.

Concernant les fermes-types Champagne crayeuse et Barrois, les résultats économiques semblent cohérents avec les synthèses des exploitations de leurs territoires respectifs. (Figure 21) Pour la ferme-type Champagne humide, la marge brute avec aides est supérieure de 140 €/ha à la moyenne des exploitations de ce territoire recensée par le CER France. Il est nécessaire de rappeler que les données du CER France correspondent à la synthèse de 36 exploitations situées dans la Champagne humide en Aube et en Haute-Marne. Or le territoire de la Champagne humide s'étale sur plusieurs départements, ainsi il peut y avoir un biais de représentativité.

Malgré une cohérence des charges totales en intrants des fermes-types avec les exploitations des territoires étudiés, nous avons souhaité décrire la répartition de ces charges en fonction des différents postes de dépenses (engrais, semences, produits phytosanitaires).

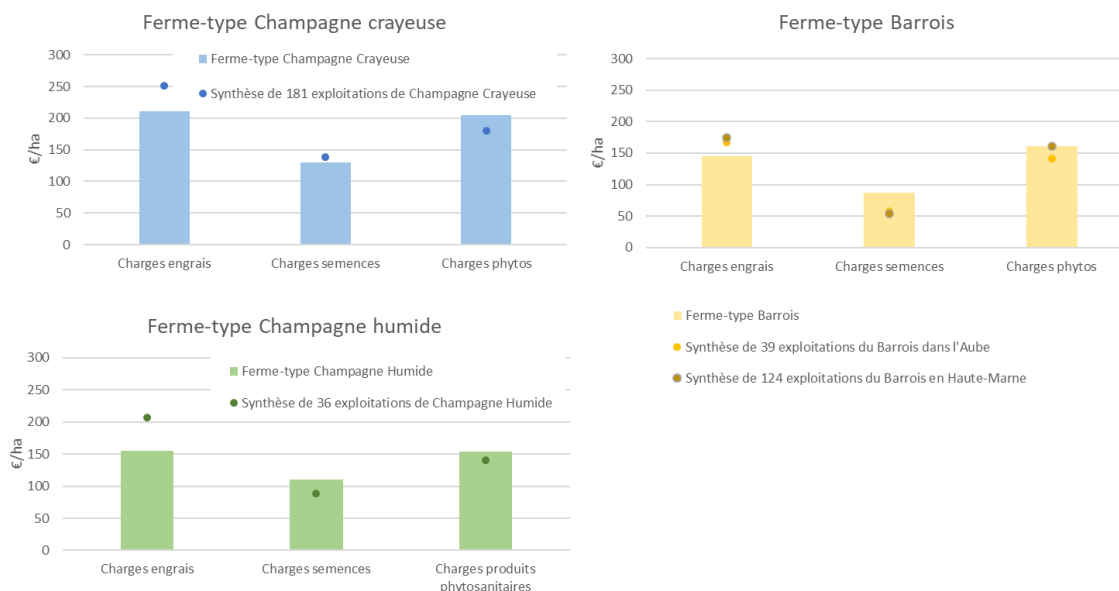


Figure 22: Comparaison des charges en intrants (Charges engrais, charges semences et charges en produits phytosanitaires) de trois fermes-types simulées sur Systerre par rapport aux résultats de l'analyse des exploitations par territoire du CER France CNEIDF réalisée en 2020.

Dans les fermes-types simulées, les charges en engrais sont inférieures aux moyennes des exploitations suivies. (Figure 22) En effet, nous avons suivi dans les fermes-types les préconisations en engrais azoté en fonction des rendements considérés, or sur le terrain les agriculteurs visent généralement des rendements supérieurs à ceux atteints ce qui contribue à une sur-fertilisation de

certaines cultures. De plus, nous avons considéré uniquement les principaux engrais or l'utilisation d'engrais de type oligoéléments, dont les répercussions sont peu chiffrées pour le moment, se développent en grandes cultures. Pour les fermes-types Champagne humide et Barrois, les charges de semences sont supérieures aux synthèses du CER France, ce qui s'explique par une part des semences de ferme importante dans la pratique.

Ces résultats soulignent que les fermes-types, bien que s'agissant de modèles standardisés de l'agriculture, sont globalement cohérentes d'un point de vue économique, avec les résultats d'exploitations réelles. Ainsi, ces fermes-types, s'avèrent être une représentation crédible, pour analyser les performances agro-économiques et les conditions de réussite au développement des légumineuses dans les systèmes de cultures du Nord-Est.

V. Interprétation des résultats par fermes-types

Dans cette partie, des indicateurs issus de l'évaluation multicritères réalisée sur Systerre® sont sélectionnés pour illustrer les impacts clés de l'insertion de la légumineuse aux niveaux économiques, techniques et environnementaux. Les résultats à l'échelle des cultures sont présentés en Annexe 1. Dans la suite de cette étude, les résultats sont présentés à l'échelle du système de culture.

a. Comparaison des fermes-types sans et avec insertion des légumineuses à graines

Pour chacune des fermes-types étudiées, les performances agro-économiques et environnementales du système de culture avec la légumineuse à graines est comparé au système de référence. L'objectif est de mettre en évidence les bénéfices et les limites de l'insertion de la légumineuse.

L'ensemble des simulations des fermes-types présentées dans ce paragraphe ont été réalisées dans un contexte de prix moyens. Le pois protéagineux est destiné à l'alimentation humaine en contrat filière à 233€/t et la féverole de printemps à la pisciculture à 225 €/t.

i. La ferme-type Champagne-Crayeuse

Indicateurs	Variable calculée à l'ha de SAU	Ferme-type Champagne crayeuse	
		Sans pois d'hiver	Avec pois d'hiver
Economique	Chiffre d'Affaire (€/ha)	1 473	1 415
	Produit brut (€/ha)	1 710	1 673
	Charge totale en intrants (€/ha)	559	510
	Marge Brute hors aides (€/ha)	914	904
	Charges de mécanisation (€/ha)	327	312
	Marge Nette hors aides (€/ha)	88	93
	Marge Nette avec aides (€/ha)	325	351
Energétique	Production d'énergie brute (MJ/ha)	163 320	147 929
	Consommation d'énergie primaire (MJ/ha)	15 437	13 842
	Efficiences énergétique	10,6	10,7
Protéique	Production de protéines végétales (kg/ha)	730	787
	Part des MRP au sein des protéines végétales (%)	27	33
Social	Temps de traction moyen (h/ha)	3,96	3,79
Environnemental	Quantité d'azote minéral apporté (kg/ha)	169	147
	IFT Total (TS inclus)	6,61	6,06
	Emissions de GES total (kgèqCO2/ha)	2 578	2 309
-5% ≤ Variation ≤ +5%			
Amélioration de l'indicateur			
Dégradation de l'indicateur			

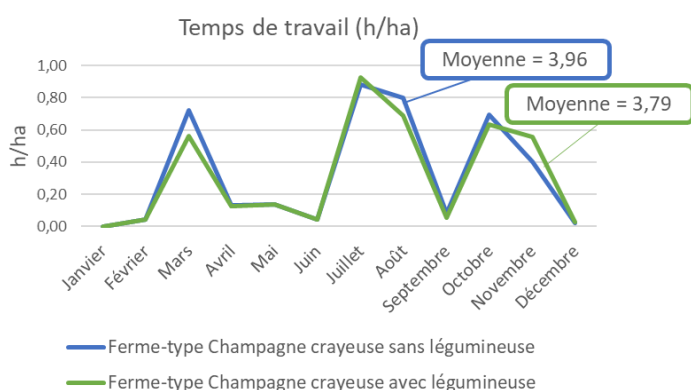
Tableau 3 : Evolution des indicateurs de la ferme-type Champagne crayeuse avec pois d'hiver par rapport à la ferme-type de référence, calculés à l'aide du logiciel Systerre

Dans la ferme-type Champagne crayeuse, l'insertion du pois d'hiver et la prise en compte de ses effets sur le blé suivant, induit **un allègement des charges à l'échelle de la rotation**. En effet, une économie de près de 50€ pour les charges en intrants (engrais, produits phytosanitaires et semences) et de 15€ pour les charges de mécanisation à l'hectare, est observée.

Malgré un produit brut légèrement inférieur après l'insertion du pois d'hiver, la réduction des charges engagées à la rotation conduit à **une meilleure rentabilité de l'exploitation**. En effet, la Marge Nette avec aides du système de culture, est supérieure de plus de 25€ par hectare pour la ferme-type Champagne Crayeuse avec légumineuse, soit plus de 5 400 € pour les 210 hectares de l'exploitation.

L'introduction d'une légumineuse à graines **améliore l'ensemble des indicateurs environnementaux étudiés à l'échelle du système de culture**. Grâce à l'absence de fertilisation azotée sur la légumineuse et la prise en compte de l'effet sur le blé suivant : une **économie de 22 kg d'azote minéral à l'hectare** est possible à l'échelle du système de culture. L'introduction du pois d'hiver, culture nécessitant peu d'intrants, permet une diminution de 8% de l'Indice de Fréquence de Traitement (IFT) à l'échelle de la rotation. L'insertion de la légumineuse à graines, selon la méthode de calcul de Systerre®, réduit **les émissions de GES de 270 kg d'équivalent CO2 par hectare** de la ferme-type. Dans une perspective d'ouverture d'un marché carbone, pour un prix moyen estimé à 35 €/t, le crédit carbone à l'échelle de la ferme-type (210 hectares) pourrait s'élever à 1980 €.

La culture de la légumineuse à graines **augmente la production de protéines végétales de 60 kg par hectare** et de 6% la part de Matières Riches en Protéines (MRP) à l'échelle du système.



S'agissant des indicateurs sociaux étudiés, de **temps de travail et de répartition de la charge de travail, ceux-ci restent inchangés** par l'insertion de la légumineuse.

Figure 23: Evolution des indicateurs sociaux de la ferme-type Champagne crayeuse sans et avec légumineuse.

ii. La ferme-type Barrois

Indicateurs	Variable calculée à l'ha de SAU	Ferme-type Barrois	
		Sans pois de printemps	Avec pois de printemps
Economique	Chiffre d'Affaire (€/ha)	967	958
	Produit brut (€/ha)	1196	1197
	Charge totale en intrants (€/ha)	397	379
	Marge Brute hors aides (€/ha)	590	580
	Charges de mécanisation (€/ha)	238	240
	Marge Nette hors aides (€/ha)	-43	-55
	Marge Nette avec aides (€/ha)	166	182
Energétique	Production d'énergie brute (MJ/ha)	86867	83 765
	Consommation d'énergie primaire (MJ/ha)	12295	11004
	Efficience énergétique	7,07	7,61
Protéique	Production de protéines végétales (kg/ha)	557	612
	Part des MRP au sein des protéines végétales (%)	26	35
Social	Temps de traction moyen (h/ha)	3,43	3,39
Environnemental	Quantité d'azote minéral apporté (kg/ha)	131	107
	IFT Total (TS inclus)	5,05	4,81
	Emissions de GES total (kgèqCO2/ha)	1974	1720
-5% ≤ Variation ≤ +5%			
Amélioration de l'indicateur			
Dégradation de l'indicateur			

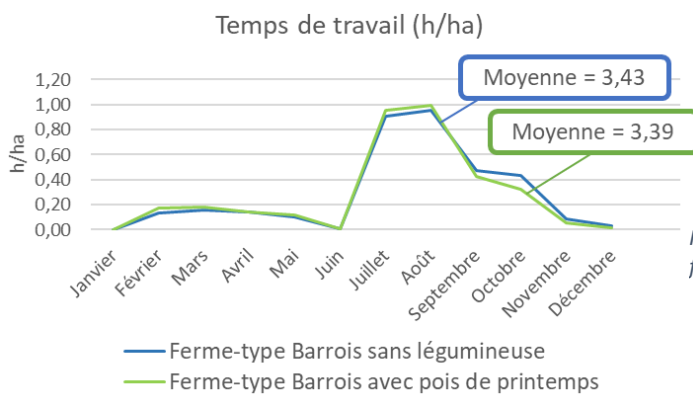
Tableau 4: Evolution des indicateurs de la ferme-type Barrois avec pois de printemps par rapport à la ferme-type de référence, calculés à l'aide du logiciel Systerre.

L'insertion d'un pois de printemps dans la ferme-type Barrois, et la prise en compte de ses effets précédents sur le blé suivant, induit **une réduction de la charge en intrants (principalement engrais)** de l'ordre de -18€ à l'hectare sur l'ensemble du système.

La prise en compte de l'aide couplée protéagineuse (149€/ha de protéagineux) est nécessaire pour constater l'amélioration de la Marge Nette de la ferme-type Barrois avec l'insertion du pois de printemps. En effet, la Marge Nette avec aides (aides découplées + aides couplées protéagineux) du système de culture, est supérieure de plus de 16€ par hectare pour la ferme-type Barrois avec légumineuse. A l'échelle des 270 ha de la SAU, cela correspond à une augmentation de plus de 4 300 € de la marge nette avec aides.

Avec l'insertion de la légumineuse, **la totalité des indicateurs environnementaux est améliorée**. La réduction des intrants contribue à **diminuer la quantité d'azote minéral apporté de 24 kg/ha** et de limiter l'IFT à l'échelle du système. La transition vers la ferme-type avec pois de printemps est associée à une **réduction de -11% de la consommation d'énergie primaire et de -13% des émissions de gaz à effet de serre (GES)** à l'échelle du système de culture.

A l'échelle de l'exploitation, la production d'énergie brute dans le système diminue légèrement car la production de ressources végétales est réduite. Bien que les rendements des légumineuses soient inférieurs à ceux des céréales, leur richesse en protéines contribue à **augmenter la production de protéines végétales de 55kg par hectare** à l'échelle de la ferme-type.



Le temps de travail et de répartition de la charge de travail, restent globalement inchangés

Figure 24: Evolution des indicateurs sociaux de la ferme-type Barrois sans et avec légumineuse.

iii. La ferme-type Champagne humide

Indicateurs	Variable calculée à l'ha de SAU	Ferme-type Champagne humide	
		Sans pois de printemps	Avec pois de printemps
Economique	Chiffre d'Affaire (€/ha)	1150	1102
	Produit brut (€/ha)	1359	1332
	Charge totale en intrants (€/ha)	426	406
	Marge Brute hors aides (€/ha)	724	696
	Charges de mécanisation (€/ha)	238	240
	Marge Nette hors aides (€/ha)	108	78
	Marge Nette avec aides (€/ha)	317	307
Energétique	Production d'énergie brute (MJ/ha)	110490	103 512
	Consommation d'énergie primaire (MJ/ha)	14233	13 174
	Efficience énergétique	7,76	7,86
Protéique	Production de protéines végétales (kg/ha)	674	692
	Part des MRP au sein des protéines végétales (%)	15	23
Social	Temps de traction moyen (h/ha)	3,47	3,48
Environnemental	Quantité d'azote minéral apporté (kg/ha)	152	132
	IFT Total (TS inclus)	5,07	4,99
	Emissions de GES total (kgèqCO2/ha)	2312	2095
-5% ≤ Variation ≤ +5%			
Amélioration de l'indicateur			
Dégradation de l'indicateur			

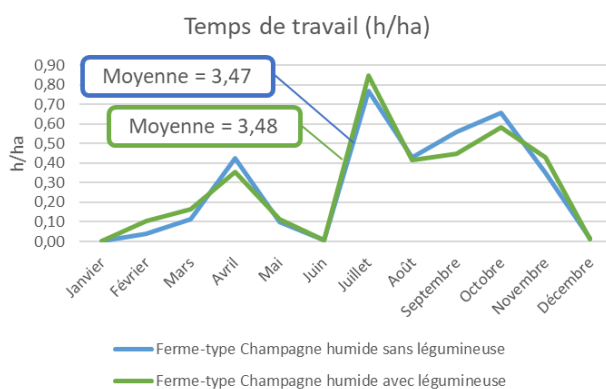
Tableau 5: Evolution des indicateurs de la ferme-type Champagne humide avec pois de printemps par rapport à la ferme-type de référence, calculés à l'aide du logiciel Systerre.

Dans la ferme-type Champagne humide, la **charge totale en intrants est diminuée de 20€** par l'insertion d'un pois de printemps et la prise en compte de ses effets sur le blé suivant.

Malgré la réduction des charges totales d'intrants, **les marges brutes et nettes de la ferme-type Champagne humide sont inférieures à la suite de l'insertion du pois de printemps**. La prise en compte des aides couplées limite cet écart ainsi la marge nette avec aides est inférieure de 10€ pour la ferme-type avec pois de printemps.

Ce constat s'explique par la plus faible rentabilité économique de la culture du pois de printemps par rapport aux autres cultures de la ferme-type. (Annexe 2) En effet, le potentiel agronomique des sols de Champagne Humide garanti des rendements satisfaisants et l'insertion de cultures rémunératrices (ex : maïs grain). Dans ce type de secteur, avec une forte hétérogénéité des potentiels, le pois est souvent utilisé en solution de diversification dans les rotations limitées. De plus, dans certains secteurs, le climat continental plafonne les rendements du pois (stress hydrique à floraison) et l'itinéraire technique suivi (insertion de culture intermédiaire, labour, etc.) contribue à accroître les charges et donc lèse le résultat économique à la culture. Dans un contexte de types de sols hétérogènes, il semblerait intéressant de **mieux identifier les parcelles d'intérêts pour l'implantation de la légumineuse** afin de maximiser les rendements obtenus.

L'insertion de la légumineuse à graines contribue à **limiter la fertilisation de 20 kg d'azote minérale à l'hectare**, à l'échelle du système de culture. Ce qui induit une **diminution de la consommation d'énergie (-7%) et d'émissions de GES totales (-9%)** à l'échelle de la ferme-type. La réduction de 20 kg N/ha, soit pour les 315 ha de l'exploitation, permet une économie de 68,4 t N/ SAU. Dans une perspective d'ouverture d'un marché carbone, pour un prix moyen estimé à 35 €/t, le crédit carbone à l'échelle de la ferme-type (315 ha) pourrait s'élever à 2400 €.



Le temps de travail reste inchangé par l'insertion du pois de printemps dans la ferme-type de Champagne humide. En revanche, cela semble induire une accentuation du pic de travail lors de la moisson (en juillet).

Figure 25: Evolution des indicateurs sociaux de la ferme-type Champagne humide sans et avec légumineuse.

iv. La ferme-type Brie

1. Insertion d'une féverole de printemps

Indicateurs	Variable calculée à l'ha de SAU	Ferme-type Brie	
		Sans légumineuse	Avec féverole de printemps
Economique	Chiffre d'Affaire (€/ha)	1287	1226
	Produit brut (€/ha)	1510	1470
	Charge totale en intrants (€/ha)	450	436
	Marge Brute hors aides (€/ha)	836	790
	Charges de mécanisation (€/ha)	301	299
	Marge Nette hors aides (€/ha)	118	73
	Marge Nette avec aides (€/ha)	341	317
Energétique	Production d'énergie brute (MJ/ha)	123098	115376
	Consommation d'énergie primaire (MJ/ha)	15017	13684
	Efficiencia énergétique	8,20	8,43
Protéique	Production de protéines végétales (kg/ha)	756	773
	Part de protéines végétales en MRP (%)	16	24
Social	Temps de traction moyen (h/ha)	3,97	3,89
Environnemental	Quantité d'azote minéral apporté (kg/ha)	157	134
	IFT Total (TS inclus)	5,85	5,57
	Emissions de GES total (kg\ddot{e}qCO$_2$/ha)	2425	2165
-5% \leq Variation \leq +5%			
Amélioration de l'indicateur			
Dégradation de l'indicateur			

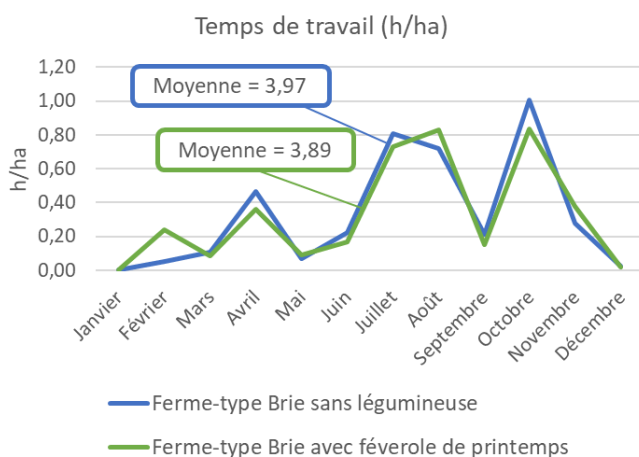
Tableau 6: Evolution des indicateurs de la ferme-type Brie avec féverole de printemps par rapport à la ferme-type de référence, calculés à l'aide du logiciel Systerre.

Malgré une **légère diminution des charges** (intrants et mécanisation) induite par l'insertion d'une féverole de printemps et de ses effets sur le blé suivant, la totalité des **indicateurs économiques de la ferme-type sont dégradés**. Ceci s'explique par :

- La faible rémunération de la féverole de printemps, considérée à 225 €/t en moyenne pour la destination pisciculture.
- Les faibles moyennes de rendements obtenues ces dernières années, considérées ici à 35 q/ha. Moyenne sur 5 ans qui reflète en réalité une grande variabilité des rendements de cette culture en raison notamment de sa sensibilité aux aléas climatiques.

Néanmoins il est nécessaire de souligner que dans les exploitations de la Brie, la féverole de printemps est le plus souvent implantée dans les terres à plus faible potentiel, ce qui explique en partie le plus faible rendement de cette légumineuse par rapport aux autres cultures de la ferme-type. De plus, les avantages agronomiques à l'échelle de la rotation ne sont pas pris en compte ici, seulement les effets à la culture suivante (écart de rendement et de fertilisation azotée).

L'ensemble des indicateurs environnementaux sont améliorés à l'échelle de la ferme-type avec la féverole de printemps. L'indice de fréquence de traitement est limité à 5,57 grâce au moindre traitement sur la féverole (IFT à l'échelle de la culture = 3) par rapport aux autres cultures de la rotation (IFT du blé : 6,65). Cette introduction contribue à la **diminution de la quantité d'azote minérale apportée** de l'ordre de 20 kg/ha, soit 420 kg d'azote minérale à l'échelle de la SAU totale de la ferme-type. L'absence de fertilisation azotée sur la féverole de printemps et les économies induites sur le blé suivant contribuent à **limiter les émissions de GES totales** de 260 kg d'équivalent CO $_2$ à l'échelle du système de culture. Dans une perspective d'ouverture d'un marché carbone, pour un prix moyen estimé à 35 €/t, le crédit carbone à l'échelle de la ferme-type (210 hectares) s'élèverait à 1910 €.



A l'échelle de la ferme-type, **le temps de travail reste globalement inchangé** par l'insertion de la féverole de printemps. L'introduction de cette culture de printemps contribue à **une meilleure répartition de la charge de travail dans l'année**, avec une diminution du pic de volume horaire du mois d'octobre et avril

Figure 26: Evolution des indicateurs sociaux de la ferme-type Brie sans et avec féverole de printemps.

2. Insertion d'un pois d'hiver

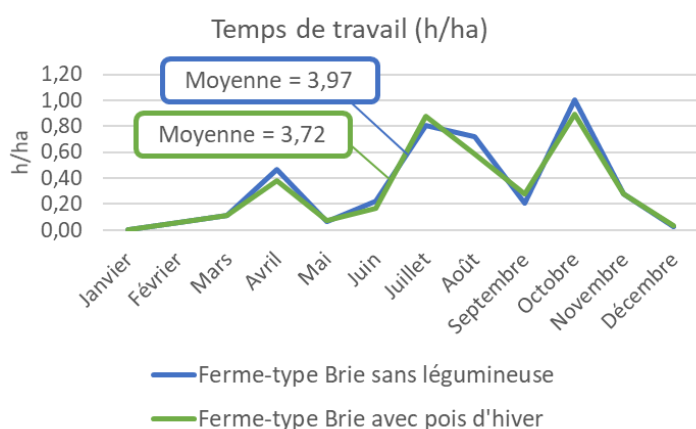
Indicateurs	Variable calculée à l'ha de SAU	Ferme-type Brie	
		Sans légumineuse	Avec pois d'hiver
Economique	Chiffre d'Affaire (€/ha)	1287	1266
	Produit brut (€/ha)	1510	1511
	Charge totale en intrants (€/ha)	450	432
	Marge Brute hors aides (€/ha)	836	834
	Charges de mécanisation (€/ha)	301	293
	Marge Nette hors aides (€/ha)	118	123
	Marge Nette avec aides (€/ha)	341	367
Energétique	Production d'énergie brute (MJ/ha)	123098	117651
	Consommation d'énergie primaire (MJ/ha)	15017	13408
	Effizienz énergétique	8,20	8,77
Protéique	Production de protéines végétales (kg/ha)	756	804
	Part de protéines végétales en MRP (%)	16	26
Social	Temps de traction moyen (h/ha)	3,97	3,72
Environnemental	Quantité d'azote minéral apporté (kg/ha)	157	134
	IFT Total (TS inclus)	5,85	5,66
	Emissions de GES total (kgèqCO2/ha)	2425	2150
-5% ≤ Variation ≤ +5%			
Amélioration de l'indicateur			
Dégradation de l'indicateur			

Tableau 7: Evolution des indicateurs de la ferme-type Brie avec pois de printemps par rapport à la ferme-type de référence, calculés à l'aide du logiciel Systerre.

L'insertion d'un pois d'hiver et de ses effets, contribue à une **légère diminution des charges d'intrants (-4%) et de mécanisation (-3%)**, de la ferme-type Brie.

Le rendement du pois d'hiver considéré est de 46 q/ha avec un débouché en alimentation humaine sous contrat-filière à 233 €/ha. Dans ces conditions, l'insertion d'un pois d'hiver dans la ferme-type Brie de référence induit **une amélioration de la rentabilité économique de l'exploitation**. En effet, la marge nette, à l'échelle du système de culture, est supérieure en considérant ou non les aides couplées et découplées.

A l'échelle du système de culture, l'insertion de la légumineuse contribue à **l'amélioration de l'ensemble des indicateurs environnementaux** : diminution de 23 kg/ha de la quantité d'azote apportée, plus faible émission de GES total avec une économie de 275 kg d'équivalent CO₂ par hectare, et enfin une moindre utilisation de produits phytosanitaires conduit à la diminution de l'IFT total du système.



L'introduction du pois d'hiver induit un **gain de temps de travail annuel** de 0,25 h/ha, soit une diminution de 53 heures pour les 210 hectares de la SAU par an.

La répartition du temps est globalement similaire à l'échelle de la ferme-type Brie, sans et avec insertion de la légumineuse.

Figure 27: Evolution des indicateurs sociaux de la ferme-type Brie sans et avec pois d'hiver.

Conclusion intermédiaire :

L'insertion d'une légumineuse à graines dans les fermes-types induit **une réduction des charges à l'échelle du système de culture**, principalement dues à la réduction de la fertilisation azotée. L'introduction d'un pois protéagineux **ne semble pas dégrader de manière significative la rentabilité économique**. L'intérêt économique de cette introduction est dépendant du système de culture de référence, et ainsi des potentiels économiques des autres cultures de la ferme-type. Enfin, la réussite économique de cette introduction semble dépendre du potentiel économique (rendement, prix de vente, ...) de la légumineuse à graines.

Les indicateurs sociaux (temps de travail et répartition du travail) restent globalement inchangés.

L'ensemble des indicateurs environnementaux étudiés (quantité d'azote minéral apportée, IFT total, la consommation d'énergie et l'émissions de GES) sont améliorés dans les systèmes de cultures simulés. Une économie de plus de 20 kg d'azotes par hectare est obtenue à l'échelle des systèmes de culture. Bien que les effets de la légumineuse à l'échelle de la rotation (réduction des herbicides, etc.) ne soient pas intégrés à cette étude, le caractère bas intrants des légumineuses, contribue à réduire d'environ 5% l'IFT de l'ensemble du système de culture. La réduction des émissions de GES, de -10% à -13% en fonction des fermes-types du Nord-Est étudiées, obtenue par l'insertion de la légumineuse, pourrait faire l'objet d'une valorisation économique au sein d'un marché carbone.

Bien que l'insertion de la légumineuse semble diminuer la production d'énergie brute des systèmes étudiés, il y a **une augmentation de la production de protéines végétales (entre 17 et 57 kg par hectare) et de la proportion de MRP (de +6% à +10%)**, en phase avec les enjeux du plan de relance protéines. Ces indicateurs sont dépendants du système de culture initiale, de la part de légumineuse dans l'assolement et de son potentiel agronomique.

b. Analyse de sensibilité des fermes-types

i. Quel prix de vente pour la légumineuse ?

Dans le but d'identifier les conditions de réussite de l'insertion des légumineuses à graines dans les systèmes de cultures du Nord-Est, une analyse de la sensibilité économique est réalisée vis-à-vis du débouché et donc du prix de vente de la culture introduite.

1. Le pois protéagineux

Les débouchés pour les pois d'hiver et les pois de printemps sont similaires. Il existe une grande variabilité de débouchés pour ces pois protéagineux dans le Nord-Est de la France. L'opportunité d'accès à ces débouchés est considérée comme similaire dans l'ensemble des territoires étudiés.

Le pois fourrager est vendu en moyenne à l'échelle nationale à 193 €/t, prix considéré dans cette étude pour le déboucher alimentation animale du pois protéagineux. Il est important de souligner que les variétés et la conduite de culture du pois fourrager peuvent différer du pois grain, ainsi les rendements sont souvent plus élevés pour le pois fourrager car la recherche de biomasse est privilégiée. Ces gains de rendement n'ont pas été intégrés à ces simulations.

Le pois protéagineux pour l'alimentation humaine présente une meilleure rémunération, de l'ordre de 210€/t en moyenne à l'échelle nationale. Des contrats filières, proposés par certaines coopératives, permettent une majoration de ce prix du marché, le prix est considéré ici à 233€/t. Il existe certaines filières de niches pour le pois protéagineux, tel que le pois vert pour l'oisellerie ou en alimentation humaine (ex : pois cassé pour les cantines). Ces débouchés contribuent à une majoration du prix de vente considéré ici à 262€/t.

Nous avons choisi de comparer la marge nette avec aides à l'échelle des systèmes de cultures pour évaluer la rentabilité économique des systèmes étudiés en fonction du débouché considéré.

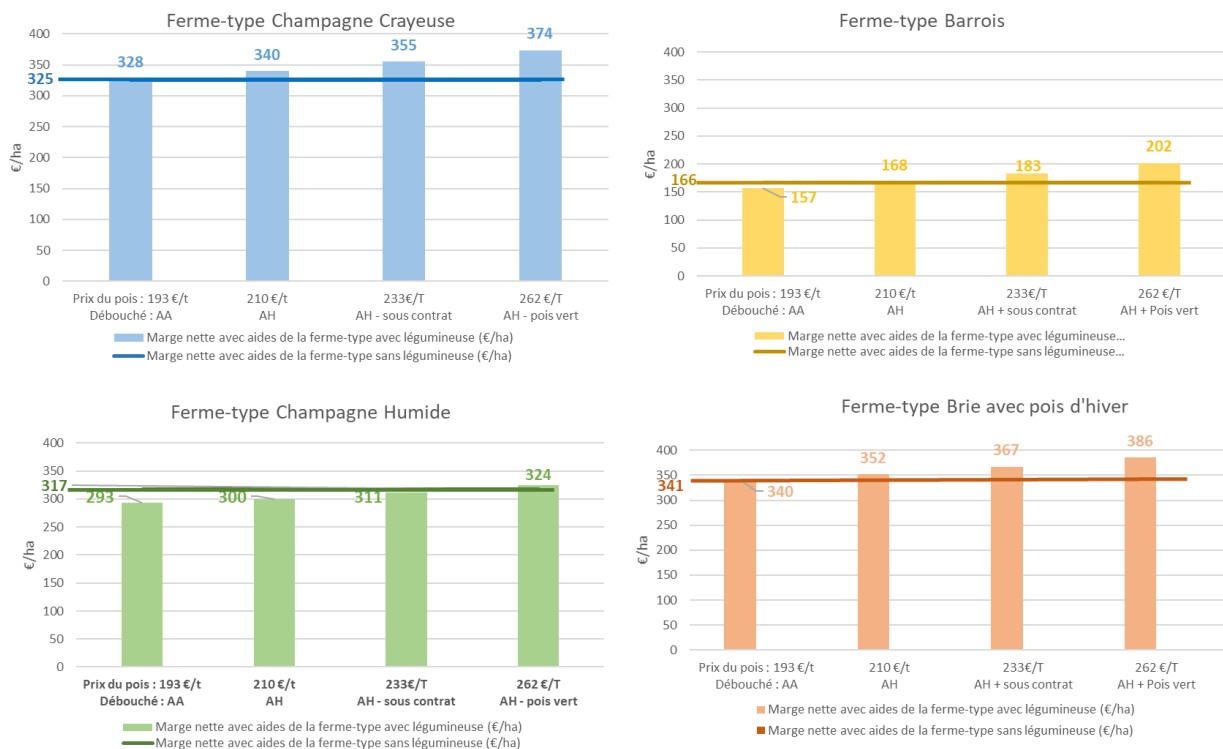


Figure 28: Graphiques présentant les évolutions de la marge nette avec aides des fermes-types avec pois protéagineux fonction du prix du pois considéré. La marge nette avec aides des fermes-types sans légumineuse sont indiquées.

La marge nette avec aides de la ferme-type Champagne crayeuse est améliorée avec l'insertion d'un pois d'hiver, quel que soit le débouché et donc le prix du pois considéré.

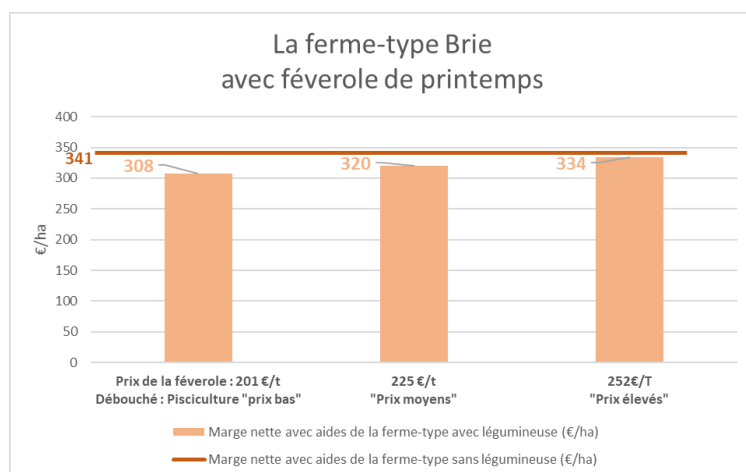
Pour la ferme-type Barrois, la rentabilité économique du système de culture est meilleure avec l'insertion d'un pois de printemps, sauf lorsque celui-ci est destiné à l'alimentation animale.

Concernant la ferme-type Champagne humide, la marge nette avec aides à l'échelle du système est améliorée par l'insertion d'un pois de printemps uniquement s'il est destiné à une filière à haute valeur ajoutée. Dans ce contexte de forte compétitivité économique des autres cultures de la ferme-type, à un rendement moyen du pois considéré à 32 q/ha, seule une meilleure valorisation économique de la culture peut induire un intérêt financier à l'insertion de cette légumineuse.

Pour la ferme-type Brie, la marge nette avec aides est améliorée par l'insertion d'un pois d'hiver. Seule la simulation avec un pois d'hiver destiné à l'alimentation animale (193 €/t) présente une marge nette légèrement inférieure à la ferme-type sans légumineuse.

1. La féverole

En France, les féveroles sont destinées uniquement à l'alimentation animale. En effet, il n'existe plus de marché en alimentation humaine vers l'Égypte en raison de la pression accrue des bruches, ravageurs qui dégradent la qualité visuelle des graines. Ce débouché a été en partie remplacé, dans le secteur, par l'export de graines décortiquées pour la pisciculture en Norvège. Différents prix pour le débouché pisciculture sont testés dans ces simulations : 201 €/t, 225 €/t et 252 €/t.



D'après ces résultats, l'insertion d'une féverole de printemps dans la ferme-type Brie ne permet pas, pour un rendement considéré à 35 q/ha, d'améliorer la marge nette avec aides du système de culture.

Figure 29 : Evolution de la marge nette avec aides de la ferme-type brie avec féverole de printemps en fonction du prix de la féverole considéré. La marge nette avec aides de la ferme-type Brie sans légumineuse est indiquée.

Conclusion intermédiaire :

Les opportunités de débouché, et donc de prix de vente, conditionnent la réussite économique de l'insertion de la légumineuse à graines dans les systèmes de cultures du Nord-Est.

Pour le pois protéagineux, le débouché en alimentation animale (193€/t) ne semble pas suffisant pour confirmer un intérêt économique à son insertion dans les fermes-types étudiées. A l'inverse, un débouché du pois dans une filière de niche rémunératrice (262€/t), améliore la marge nette avec aides de l'ensemble des fermes-types.

Pour la féverole, au rendement considéré, le débouché en alimentation animale spécifique à la pisciculture ne semble pas suffisant pour améliorer la marge nette avec aides de la ferme-type avec la légumineuse. Le développement de filière de niche plus rémunératrice (ex : farine de féverole, contrat filière en alimentation animale : projet PROLEVAL) pourrait être des opportunités pour l'implantation durable de la féverole dans ces systèmes de culture.

ii. L'influence du contexte économique sur l'insertion du pois protéagineux

La robustesse économique des fermes-types est étudiée en simulant différents contextes économiques. Trois configurations sont étudiées : « Prix bas », « Prix moyens » et « Prix élevés », en considérant des variations corrélées des prix de vente des cultures, des prix des engrais azotés et de l'énergie. Les prix de vente se basent sur les prix indicatifs en agriculture conventionnelle par culture sur les 5 dernières années : le « Prix moyen » correspond à la valeur moyenne 2016-2020, le « Prix faible » à la valeur minimale et le « Prix élevé » à la valeur maximale sur cette même période. Les prix des engrais et de l'énergie sont déterminés à dire d'experts. (Tableau 8)

	Prix de vente pour les producteurs par culture (€/t)								Prix des engrais et de l'énergie (€/kg ou L)		
	Pois	Féverole	Colza	Tournesol	Blé	Orge	Maïs	Betterave	Ammonitrate	Solution azotée	Fuel
« Prix faibles »	210	201	329	319	140	144	115	19	0,27	0,2	0,75
« Prix moyens »	233	225	360	340	155	175	135	24	0,33	0,3	0,85
« Prix élevés »	262	252	404	429	185	185	154	25	0,4	0,37	0,95

Tableau 8 : Hypothèses de prix de ventes des cultures, des engrais azotés et de l'énergie pour les trois contextes économiques étudiés.

En se basant sur ces hypothèses de prix, les Marges Nettes avec aides (MN aides) des systèmes de cultures sont comparées pour les fermes-types sans légumineuse et avec insertion du pois protéagineux. (Figure 30)

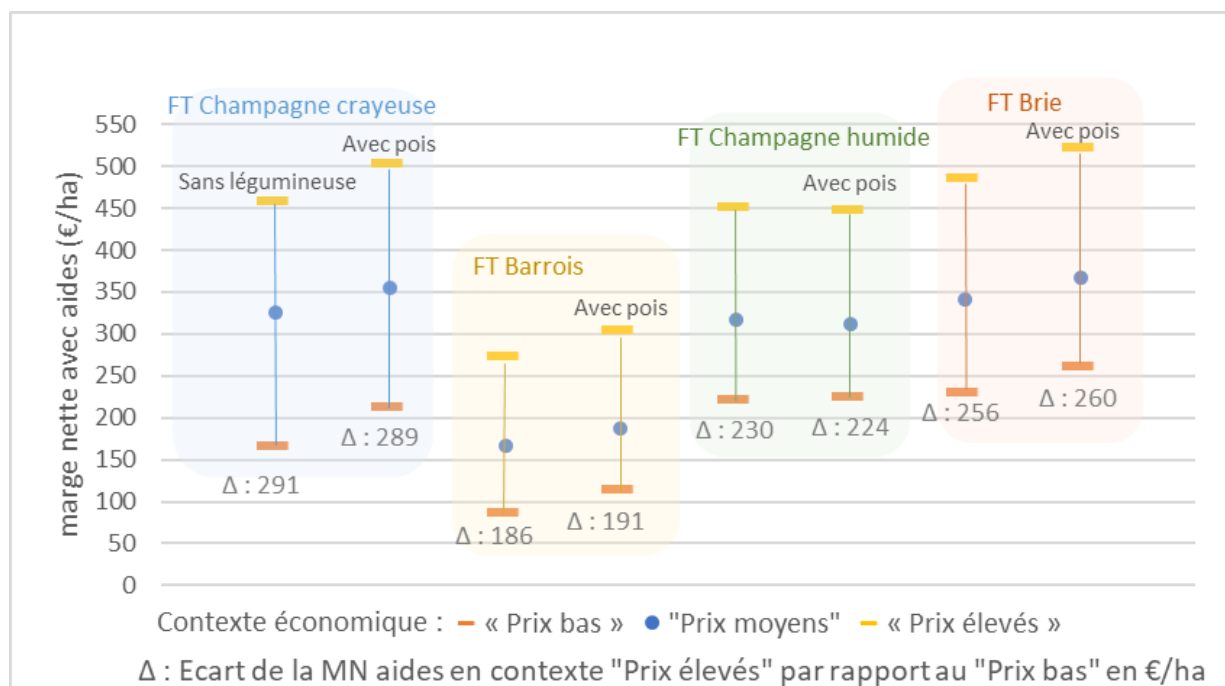


Figure 30: Evolution de la marge nette avec aides (€/ha) des quatre fermes-types (sans et avec insertion du pois) étudiées en fonction de trois contextes économiques : "Prix bas", "Prix moyens" et "Prix élevés".

L'évolution du contexte économique (« prix élevé » versus « prix bas ») a un impact similaire sur l'écart de la marge nette avec aides (Δ), pour les fermes-types sans et avec insertion du pois protéagineux. Par exemple, pour la ferme-type Champagne crayeuse, l'écart est seulement de 2€/ha entre la ferme-type sans légumineuse (Δ = 291 €/ha) et la ferme-type avec pois (Δ = 289€/ha). De plus, les écarts de marges nets entre les fermes-types avec et sans légumineuse, observables dans un contexte de « prix moyen », se maintiennent pour des contextes économiques différents.

D'après ces résultats, il semble que l'insertion de légumineuse à graines dans les systèmes de cultures du Nord-Est n'influence pas la robustesse des systèmes face aux aléas économiques.

L'année 2021 a été marquée par des prix de vente des cultures hauts, aussi corrélés à des prix des intrants azotés et de l'énergie élevés. Ainsi, d'après ces simulations, il ne semble pas y avoir de répercussion de ce contexte sur l'opportunité d'insertion de la légumineuse à graines en Nord-Est.

iii. Sensibilité des fermes-types aux effets précédents considérés

Une analyse de sensibilité de la rentabilité économique, de la ferme-type Champagne crayeuse et de la ferme-type Barrois, est réalisée au regard des hypothèses agronomiques considérées. Les effets combinés de la variation du rendement et de la diminution de la dose azotée sur le blé suivant la légumineuse sont testés. Les valeurs de référence considérées sont établies à dire d'expert. Les simulations suivantes ont été réalisées pour un prix du pois à 210 €/t.

Pour percevoir la rentabilité économique de la ferme-type avec légumineuse, pour différents effets précédents considérés, sa Marge Nette avec aides (MN aides) est comparée à la MN aides de la ferme-type sans légumineuse. Quatre catégories ont été mises en place :

- « **Très inférieur** » : MN aides (FT avec légumineuse) est inférieure de plus de 5% de la MN aides (FT sans légumineuse)
- « **Inférieur** » : MN aides (FT avec légumineuse) est inférieure de moins de 5% de la MN aides (FT sans légumineuse)
- « **Supérieur** » : MN aides (FT avec légumineuse) est supérieure de moins de 5% de la MN aides (FT sans légumineuse)
- « **Très supérieur** » : MN aides (FT avec légumineuse) est supérieure de plus de 5% de la MN aides (FT sans légumineuse)

Pour les deux fermes-types étudiées, les catégories des MN aides obtenues en fonction de l'écart de dose azotée (-40 kgN/ha ; -25kgN/ha ; -10kgN/ha) et de l'écart de rendement (-3 q/ha ; +1,7 q/ha ; +4 q/ha) du blé de pois par rapport au blé de colza considérés sont présentés dans la Figure 31.

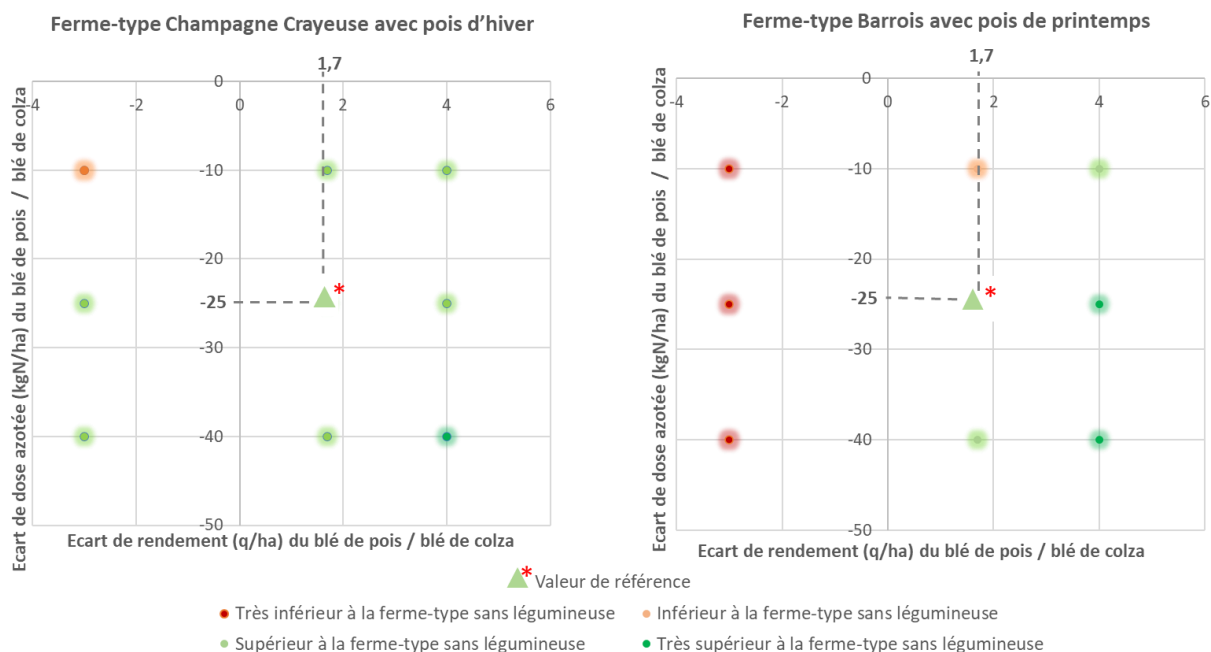


Figure 31: Analyse de sensibilité des Marges Nettes avec aides aux effets précédents considérés pour la ferme-type Champagne Crayeuse et pour la ferme-type Barrois

La MN aides de la ferme-type champagne crayeuse est stable vis-à-vis des hypothèses considérées pour l'effet de la légumineuse. Elle est maintenue supérieure à la MN aides de la ferme-type sans légumineuse, excepté dans le cas extrême où la légumineuse induirait une perte de rendement de 3q/ha et une réduction de la dose azotée de 10kgN/ha par rapport à un blé de colza.

Pour la ferme-type Barrois, la rentabilité économique du système de culture dépend d'avantage des effets précédents considérés. On constate que l'écart de rendement sur le blé suivant joue un rôle important dans la stabilité économique de l'exploitation. En effet, dans le cas d'une perte de rendement de 3 q/ha pour le blé de pois par rapport à un blé de colza, les MN aides de la ferme-type sont « très inférieures » à celle de la ferme-type sans légumineuse, quel que soit l'écart de dose azotée considéré. La réduction de la dose azotée sur le blé suivant, bien qu'intéressant sur le plan environnemental, semble exercer une moindre influence sur le résultat économique de la ferme-type.

Il est important de souligner qu'il s'agit ici de résultat pour un prix du pois à 210 €/t, les simulations équivalentes pour un prix du pois à 233€/t (Annexe 4) ont montré une meilleure stabilité de la rentabilité économique de la ferme-type Barrois. Le prix de vente du pois semble jouer un rôle plus important que les effets précédents considérés dans l'intérêt économique de l'insertion de la légumineuse dans les fermes-types du Nord-Est.

VI. Discussion et limites de l'étude

Un des objectifs du PEI PARTAGE est de garantir une meilleure intégration des légumineuses à graines dans les systèmes de production du Nord-Est. Pour cela, les intérêts de l'insertion d'une légumineuse à graines dans les systèmes locaux et les conditions de réussites de cette intégration, ont été identifiés et caractérisés dans cette étude.

a. Quels intérêts environnementaux et agro-économiques de l'insertion des légumineuses à graines dans les systèmes de cultures du Nord-Est ?

i. Les légumineuses à graines : des bénéfices environnementaux pour les systèmes de cultures du Nord-Est

Dans les systèmes de cultures du Nord-Est, l'insertion d'une légumineuse à graines et la prise en compte de ses effets précédents contribue à réduire une série d'impacts environnementaux : réduction de plus de 10% des émissions de GES liée à une moindre fertilisation azotée (-20kg d'azote par hectare), diminution de plus de 7% de la consommation d'énergie fossile et la réduction de l'utilisation de produits phytosanitaires (-5% de l'IFT en moyenne). Ne prenant pas en compte les effets à moyen-long terme de la légumineuse, les résultats obtenus pourraient être sous-estimés par rapport aux conditions réelles, ce que semble confirmer d'autres études.

Dans une étude de 2012, l'insertion d'un pois protéagineux dans une rotation céréalière peu diversifiée, induit une réduction de l'IFT comprise entre 5% à 15% à l'échelle de la rotation. L'analyse de Cycle de Vie (ACV) de ce même système de culture a mis en évidence une réduction de 14% des émissions de GES (entre 400 et 600 kgeq CO₂ /ha/an) et de 13% de la consommation d'énergie fossile, en lien avec l'insertion de la légumineuse. (Carrouée, Schneider, Flénet, Jeuffroy, & Nemecek, 2012)

Comme présenté dans le paragraphe IV. a., il est nécessaire de rester vigilant aux risques environnementaux liés à l'insertion des légumineuses à graines. Les indicateurs fournis par Systerre® ne permettent pas de mettre en évidence ces risques. Par exemple, les légumineuses à graines, dont les rendements sont plus sensibles aux aléas climatiques, peuvent obtenir des bilans de stockages de carbones moindre que les céréales. (Dold C., 2017) Ainsi en complément des émissions de GES, il serait intéressant d'étudier l'évolution de la séquestration des GES induite par l'insertion d'une légumineuse. D'autres indicateurs, absents de Systerre®, pourraient être étudiés (la lixiviation des nitrates, les émissions de NH₃ par volatilisation) pour mieux comprendre les impacts environnementaux de l'insertion de la légumineuse à graines dans les systèmes de culture du Nord-Est.

ii. Une diversification des systèmes de culture à fort enjeu nutritionnel

L'insertion d'une légumineuse à graines induit une réduction de la production d'énergie brute du système de culture liée au plus faible rendement des légumineuses vis-à-vis des céréales. Cependant, leurs richesses en protéines garantit une augmentation de la production de protéines végétales et de la proportion de Matières Riches en Protéines (MRP) à l'échelle du système.

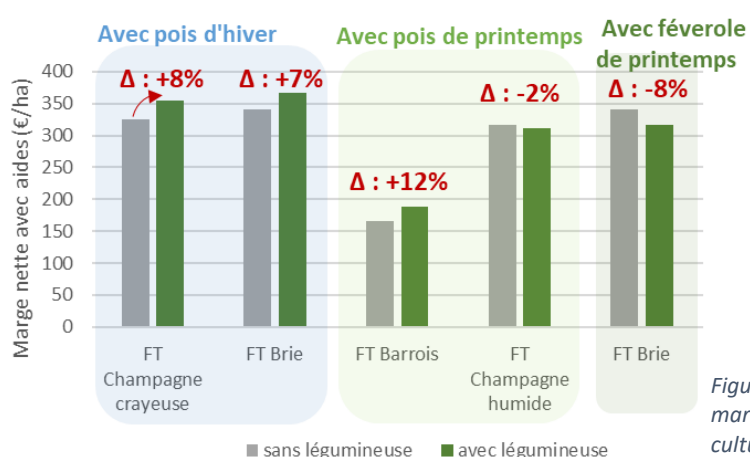
Ces résultats sont cohérents avec une étude réalisée en 2020 qui compare l'efficacité environnementale de dix rotations européennes en termes de fournitures pour la nutrition humaine et animale. D'après cette étude, bien que fournissant moins d'énergie métabolisable, l'introduction d'une légumineuse dans les rotations conventionnelles de céréales et d'oléagineux augmente la production de protéines et améliore le rendement nutritionnel animal et humain, à un coût environnemental moindre que les rotations conventionnelles. (Marcela P. Costa, 2021)

Enjeu fort de la stratégie Cap Protéines du plan France Relance, l'augmentation de la production protéique des systèmes de cultures Nord-Est est permise par l'insertion d'une légumineuse à graines.

iii. Une réussite économique variable selon le contexte

Dans la plupart des fermes-types étudiées, l'insertion de la légumineuse à graines ne dégrade pas la marge nette avec aides du système de culture. Cependant la réussite économique de cette insertion dépend de nombreux facteurs à l'échelle de la culture de la légumineuse (prix de vente, potentiel de rendements, itinéraire technique suivi) et du système de culture (prise en compte des effets précédents, compétitivités économiques des autres cultures).

A titre d'exemple, pour les deux fermes-types où le pois d'hiver est inséré, la marge nette avec aides est améliorée. (Figure 32) Le potentiel agronomique et économique à l'échelle de la culture semble jouer sur la réussite de son insertion à l'échelle du système.



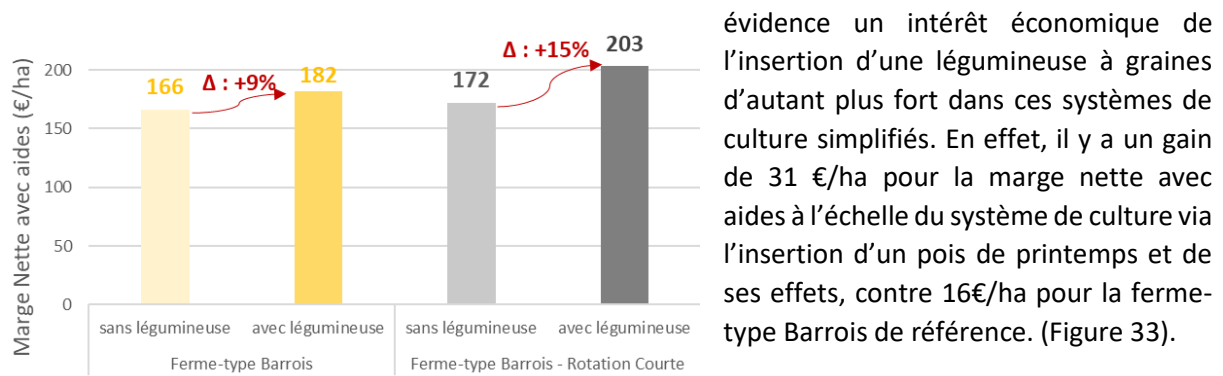
Comme en témoigne les résultats variables de l'insertion du pois de printemps, il faut également apprécier la performance du système de culture. L'insertion du pois induit un gain de 12% de la marge nette avec aides pour la ferme-type Barrois contre une perte de 2% pour la ferme-type de la Champagne humide.

Figure 32 : Comparaison des évolutions de la marge nette avec aides, à l'échelle du système de culture, des fermes-types en fonction de la légumineuse à graines insérée

De plus, la prise en compte des aides protéagineux et la perspective d'une valorisation marchande du bénéfice environnemental de ces cultures (ex : marché carbone) contribueraient à conforter l'intérêt économique de l'insertion des légumineuses à graines dans les systèmes de cultures du Nord-Est.

L'étude s'est intéressée ici à des rotations conventionnelles de céréales et d'oléagineux représentatives du Nord-Est, mais des rotations plus simplifiées avec une intensification des céréales existent, et pourrait s'accroître avec la diminution de la sole de certaines cultures de diversification.

L'exemple de la ferme-type Barrois avec une rotation simplifiée (Colza-blé-blé-Orge d'hiver), met en



évidence un intérêt économique de l'insertion d'une légumineuse à graines d'autant plus fort dans ces systèmes de culture simplifiés. En effet, il y a un gain de 31 €/ha pour la marge nette avec aides à l'échelle du système de culture via l'insertion d'un pois de printemps et de ses effets, contre 16€/ha pour la ferme-type Barrois de référence. (Figure 33).

Figure 33 : Comparaison des effets de l'insertion d'un pois de printemps sur la marge nette avec aides de la ferme-type Barrois étudiée par rapport à une ferme-type Barrois en rotation courte.

Dans une étude de 2020 sur des ménages agricoles au Maroc, dans le cas extrême de l'insertion d'une féverole dans une monoculture de blés, les auteurs présentent une augmentation moyenne de la marge brute du système de culture de 450 €/ha (48%). (Yigezu A. Yigezu, 2019)

Ainsi, les résultats économiques de l'insertion d'une légumineuse dépendent notamment du système de culture de référence, et les bénéfices économiques sont d'autant plus importants que la rotation initiale est simplifiée. De plus, la réussite économique de l'insertion semble dépendre des opportunités agronomiques et économiques de la légumineuse introduite. Ainsi, il semble nécessaire de s'intéresser aux conditions de réussites de cette introduction.

b. Quelles conditions de réussites pour l'insertion des légumineuses à graines ?

i. Un choix adapté au contexte agro-climatique de la légumineuse

La réussite économique de la légumineuse à graines à l'échelle de la culture influence la réussite de son insertion à l'échelle du système de culture. D'après la Figure 32, il semble qu'il y ait des différences de potentiels d'insertion en fonction des légumineuses à graines testées.

Les légumineuses de printemps présentent des charges à la culture supérieures (culture intermédiaire, labour) et un plafonnement des rendements liés aux fins de cycles stressants des dernières années (sécheresses conduisant à l'avortement des fleurs, des gousses et à de l'échaudage). Pour les légumineuses d'hiver, le risque lié au gel, bien que limitant pour les rendements, impacte moins les potentiels de ces cultures. Ce qui peut expliquer les meilleurs résultats observés pour les fermes-types Champagne crayeuse et Brie à la suite de l'insertion d'un pois d'hiver.

Bien que les variétés de pois d'hiver soient plus résistantes au gel, la gestion de la bactériose reste un véritable frein à l'expansion de cette culture, dans les secteurs plus à l'Est comme le Barrois ou la Champagne humide, où les hivers plus froids favorisent l'implantation de la maladie. Cependant les résultats des années passées ne présagent rien des résultats des années à venir, à titre d'exemple, le contexte particulier de cette année semble mieux réussir au pois de printemps qu'au pois d'hiver.

Le cas de la féverole de printemps étudié dans la ferme-type Brie, combine les faibles rendements (liés aux stress hydriques et thermiques de fin de cycle) et le manque de filière structurée à forte valeur ajoutée. Cependant, le développement récent sur le territoire de la Brie de féverole d'hiver, semble laisser supposer que la culture de féverole pourrait perdurer sur le secteur.

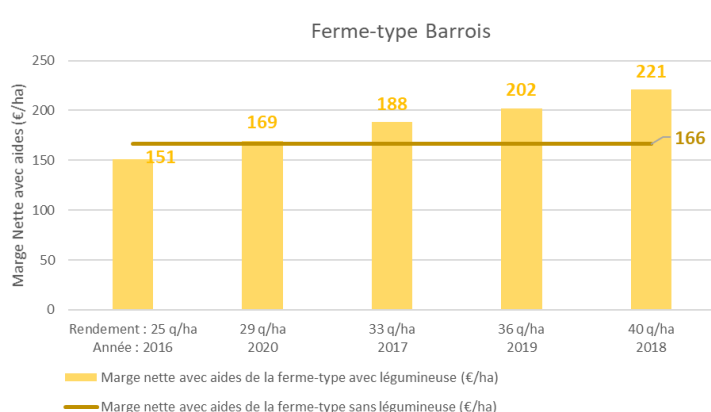
Dans le cadre de cette étude, nous avons fait le choix d'introduire une légumineuse à graines déjà cultivée sur le territoire étudié (filière existante, références de rendements et pratiques accessibles). Or d'autres légumineuses sont présentes ou pourraient se développer à l'avenir dans ces territoires. Ainsi, une meilleure compréhension, de la faisabilité et des potentialités des légumineuses à graines en fonction des différents territoires du Nord-Est, contribuerait à mieux adapter les cultures

insérées aux spécificités agro-climatiques. Ce travail a été initié dans le cadre du PEI ARPEEGE (Autonomie en Ressources Protéiques et Énergétiques des Élevages du Grand Est) sur la culture du soja, et il serait intéressant d'étendre ces analyses aux autres légumineuses à graines.

ii. La stabilisation de la production

L'importante sensibilité des légumineuses à graines face aux aléas climatiques et le manque de moyens de protection face à certains bio agresseurs, sur ces cultures de diversifications encore peu présentes dans les assolements, alimentent l'instabilité des rendements. En effet, sur la base des anomalies de rendement historiques européennes, une étude de 2015 a montré que les rendements des cultures de légumineuses sont plus variables que ceux des autres cultures. (Charles Cernay, 2015)

A titre d'exemple, nous avons étudié, l'impact de l'évolution du rendement du pois de printemps obtenu sur le territoire du Barrois (et de la Champagne Humide (Annexe 5)) ces 5 dernières années, et sur le résultat économique du système de culture. (Figure 34)



Cette étude met en évidence une variation de près de 70€/ha de la marge nette avec aides à l'échelle du système de culture (de 221 €/ha en 2018 avec un rendement de 40 q/ha du pois à 151 €/ha en 2016 pour un rendement du pois de 25 q/ha). Ces résultats sont à prendre avec précaution car ils ne prennent pas en compte les variations de rendement des autres cultures de la ferme-type.

Figure 34 : Evolution de la marge nette avec aides (€/ha) de la ferme-type Barrois en fonction des rendements moyens des 5 dernières années du pois de printemps sur le territoire.

Ainsi, plus que l'augmentation, un des enjeux est la régularisation du rendement dans le temps. Car l'irrégularité des rendements des légumineuses à graines les désavantage lors du choix de l'assolement. (Charles Cernay, 2015)

Ce niveau de risque est moins élevé pour les légumineuses à graines cultivées sur le continent américain, ce qui laisse supposer que des investissements accrus dans la sélection et l'acquisition générale de références agronomiques en Europe, pourraient limiter la variabilité interannuelle des rendements. (Charles Cernay, 2015) Le projet PRO'LAG, qui débute cette année, animé par la coopération des Hauts-de France, a justement pour objectif d'améliorer la production et la qualité des légumineuses à graines. En complément de l'acquisition de références sur les légumineuses à graines, le but est d'améliorer l'accompagnement technique des agriculteurs et la formation des organismes de conseils sur ces cultures, souvent moins maîtrisées que les autres grandes cultures.

D'autres pistes, telle que le développement d'instruments de gestion du risque (ex : assurance récolte), sont des leviers à envisager pour rassurer les agriculteurs et accroître la production de légumineuses. (Charles Cernay, 2015)

iii. Un prix attractif pour la légumineuse

Pour approximer les rendements et prix de vente pour lesquels les légumineuses à graines sont « rentables », la marge nette avec aides de la légumineuse est calculée en faisant varier ces paramètres, puis comparée à la marge nette avec aides du système de culture sans légumineuse. Ici, l'insertion est considérée comme « rentable » lorsque la marge à la culture contribue à augmenter la marge à l'échelle du système de culture.

Dans le Tableau 9, la marge nette du pois de printemps en Barrois est comparée à celle du système de culture de référence, en variant le rendement et le prix de la légumineuse. Pour rappel, la marge nette de la ferme-type sans légumineuse est de 166€/ha, l'insertion du pois de printemps est considérée pour un rendement de 3.3 t/ha à 233 €/t. Dans ces conditions, la marge nette avec aides du pois est comprise entre 137 et 183 €/ha, soit similaire à la marge de la rotation sans légumineuse.

Rendement (t/ha)											
Prix de vente (€/t)	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3	3,2	3,4	3,6	3,8	4
170	-259	-225	-191	-157	-123	-89	-55	-21	13	47	81
190	-219	-181	-143	-105	-67	-29	9	47	85	123	161
210	-179	-137	-95	-53	-11	31	73	115	157	199	241
230	-139	-93	-47	-1	45	91	137	183	229	275	321
250	-99	-49	1	51	101	151	201	251	301	351	401
270	-59	-5	49	103	157	211	265	319	373	427	481

MN pois <<MN rotation
MN pois = MN rotation
MN pois >>MN rotation

Tableau 9 : Marge nette avec aides à la culture du pois de printemps dans la ferme-type Barrois en fonction de son prix de vente et de son rendement. Comparée à la marge nette à l'échelle de la rotation de la ferme-type Barrois sans légumineuse.

Les tableaux des autres légumineuses sont présentés en Annexe 6. Ces outils offrent un ordre d'idée des niveaux de prix et de rendements d'intérêts pour que la légumineuse soit rentable dans un contexte donné. De plus, connaissant un rendement, il permet de déterminer le prix d'opportunité de la culture et inversement. Ces résultats de rentabilité sont simplifiés et doivent être vus comme pessimistes, car ces simulations ne prennent en compte ni les effets précédents ni les effets rotations des légumineuses. De plus, le changement de pratique est réduit aux seuls indicateurs économiques bien que d'autres facteurs, notamment agronomiques, orientent le choix des agriculteurs.

Une vision plus globale des débouchés et des prix de ventes des légumineuses à graines, avec à titre d'exemple les volumes de production par débouché en fonction des différents territoires, permettrait aux agriculteurs de mieux percevoir les opportunités sur leur secteur et aux conseillers agricoles de mieux comprendre les limites à l'insertion de légumineuses à graines.

La structuration de filières rémunératrices ainsi que la contractualisation des productions sont des moyens efficaces pour engager à la fois les producteurs et les acteurs de l'aval. En effet, la garantie d'un prix pour les agriculteurs contribue à assurer un volume de production et une qualité de production, valorisable économiquement par les acteurs de l'aval. Des initiatives de ce type existent sur le territoire du PEI PARTAGE, et il serait souhaitable qu'elles se développent à l'avenir.

Enfin, la futur PAC 2023 pourrait offrir de nouvelles opportunités économiques pour les légumineuses à graines. D'après les connaissances actuelles, le niveau d'aide couplé pour les protéagineux (considéré ici à 149 €/t) serait maintenu voir pourrait être renforcé dans la prochaine PAC. De plus, ces aides couplées pourraient être élargies aux autres légumineuses à graines (lentilles, pois chiches), une opportunité potentielle pour le développement de ces cultures.

iv. Une meilleure valorisation des bénéfiques à l'échelle du système de culture

Le raisonnement économique de la marge, non pas à la culture mais à l'échelle du système de culture, est indispensable pour mettre en évidence les avantages des légumineuses à graines. Il nous semble nécessaire que cet enjeu soit bien approprié par les acteurs des filières et les conseillers agricoles. Et que les bénéfiques des légumineuses à graines pour la culture suivante et pour l'ensemble de la rotation, soient intégrés aux analyses économiques des systèmes de production.

Pour cela, une meilleure compréhension des effets précédents et rotations, en fonction des contextes pédoclimatiques et des systèmes de cultures, contribuerait à une meilleure identification et valorisation des effets de l'insertion des légumineuses à graines dans les systèmes du Nord-Est.

Enfin, la valorisation des bénéfices environnementaux des légumineuses à graines, via la structuration d'un marché carbone, sera aussi un levier à l'avenir pour une meilleure rémunération des systèmes de cultures intégrant des légumineuses.

c. Limites et perspectives de l'étude

i. Les limites de la méthodologie

Afin de se placer au plus proche de la réalité du terrain, nous avons souhaité diviser la zone d'étude en fonction des régions agricoles connues (mêmes contextes pédoclimatiques, homogénéité des types d'exploitations). Une des difficultés majeures a été de trouver des données et des références, sur les systèmes de cultures et sur les légumineuses à graines, spécifiques à ces territoires agricoles du Nord-Est. La majorité des ressources étant limitée par les démarcations administratives.

De plus, les experts agricoles rencontrés ont souligné les évolutions profondes, ces dernières années, des pratiques agricoles et la diversification des types d'exploitations agricoles ce qui complexifie la définition de fermes-types.

Dans le cadre de cette étude, l'insertion de la légumineuse à graines a été suivie de l'insertion d'un blé tendre, bien que les bénéfices des légumineuses soient reconnus sur d'autres cultures (ex : colza de pois, maïs de soja). Cependant, les effets précédents sont moins établis pour ces cultures (absence d'études statistiques), et les acteurs rencontrés ont souligné le manque de représentativité de ces successions. Néanmoins, il serait intéressant d'étudier les effets, à l'échelle du système, de l'insertion de la légumineuse précédant une autre culture que du blé, et permettant ainsi de diversifier davantage la rotation.

ii. Les limites du logiciel Systerre®

Le logiciel Systerre® est un outil d'évaluation multicritère qui restitue des indicateurs sur les pratiques agricoles et les impacts de ces pratiques. Cet outil ne dispose pas de méthode d'agrégation des données obtenues ce qui complexifie l'analyse et la communication des résultats.

Les fermes-types étudiées dans le cadre de cette étude s'appuient sur des Fermes-Types d'ARVALIS-Institut du Végétal. La mise à jour de ces Fermes-types n'est pas annuelle, et ainsi certains itinéraires techniques de cultures, ne correspondant plus au contexte actuel (produits phytosanitaires interdits, nouvelles problématiques agronomiques), ont dû être adaptés par les experts agricoles rencontrés. (Tableau 10)

Culture	Source d'expertise
Pois	Enquêtes producteurs 2020-Terres Inovia ; adapté à dire d'expert
Colza et Tournesol	Régional Champagne-Ardenne - Terres Inovia
Blé tendre	Ferme-Type Systerre® d'Arvalis ; adapté à dire d'expert
Orges	Ferme-type Systerre® d'Arvalis
Maïs grain	Référente Maïs Champagne-Ardenne – Arvalis ; adapté à dire d'expert
Betterave	Régional Champagne - Institut Technique de la Betterave (ITB)

Tableau 10 : Sources d'expertise des itinéraires techniques pratiqués dans les différentes fermes-types étudiées. Le terme « adapté à dire d'expert » correspond aux résultats des entretiens avec les experts locaux : conseillers agricoles et agriculteurs des différents territoires étudiés.

Pour mieux percevoir, l'impact du contexte économique sur les systèmes de culture, l'outil Systemre® sera prochainement équipé d'un outil d'aide à la simulation avec des évolutions de prix des années passées. Cette innovation n'étant malheureusement pas encore opérationnelle, la robustesse économique a été étudiée seulement sur des contextes de prix standardisés.

iii. Les limites des fermes-types

Comme tout modèle les fermes-types ont leurs inconvénients : la rotation est ici considérée équivalente à l'assolement, ce qui n'est pas très plausible. En simplifiant la réalité, certains éléments n'ont pas été pris en compte.

Les prix de vente des cultures correspondent aux moyennes pluriannuelles nationales et sont similaires pour toutes les fermes-types. Or les prix de vente varient à la fois dans le temps et dans l'espace (certains débouchés spécifiques à certains territoires). Certaines données de prix ont été collectées, mais en raison de leur faible représentativité du territoire, elles n'ont pu être considérées dans l'étude.

L'assurance récolte ainsi que des éventuels capacités de stockage ne sont pas intégrés aux fermes-types. Le stockage est pourtant d'une source de valorisation des productions non négligeable pour certains agriculteurs.

Nous avons choisi d'étudier seulement les exploitations en grandes cultures sans interaction avec l'élevage. Ainsi, seuls les engrais minéraux sont utilisés dans les fermes-types. Or, des échanges existent entre cultivateurs et éleveurs et entre agriculteurs et industriels (ex : sucreries, méthaniseurs) qui fournissent des effluents organiques.

Conclusion et perspectives

L'étude présentée dans ce document vise à évaluer les intérêts agro-économiques et environnementaux de l'insertion de légumineuses à graines dans les systèmes de cultures du Nord-Est. Il s'agit à la fois de comparer les performances des systèmes de cultures sans et avec l'insertion d'une légumineuse dans le contexte local, et d'identifier les conditions de réussites à cette introduction.

L'intérêt économique de l'insertion d'une légumineuse à graines est dépendant du système de culture de référence et du potentiel économique de la légumineuse (rendement, prix de vente). La rentabilité économique globale des systèmes de cultures du Nord-Est simulés n'est pas dégradée, lors de l'insertion d'un pois protéagineux, grâce notamment à la réduction des charges de la succession culturale (fertilisation azotée).

Dans les systèmes de culture du Nord-Est, l'insertion d'une légumineuse à graines et de ses effets précédents contribue à réduire un ensemble d'impacts environnementaux : réduction des émissions de GES liées à une moindre fertilisation azotée, diminution de la consommation d'énergie fossile, et réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires. La sensibilisation aux risques environnementaux est une condition nécessaire à la réussite de cette introduction. Les bénéfices sur l'environnement pourraient faire l'objet d'une valorisation économique à terme (Marché carbone).

Compte tenu de la diversité des territoires dans le Nord-Est, le choix de la légumineuse à graines à insérer dans le système de culture est un paramètre important. Cette dernière doit correspondre au mieux au contexte agro-climatique local tout en répondant aux opportunités économiques de la zone. De plus, augmenter et surtout stabiliser les rendements des légumineuses à graines, sont des défis à relever pour garantir le développement de ces cultures dans les assolements du Nord Est. Enfin, une meilleure connaissance des effets des légumineuses à graines, spécifiques aux contextes pédoclimatiques et aux systèmes de culture du Nord-Est, contribuerait à une meilleure valorisation des bénéfices de ces cultures.

La phase de conception et la validation des hypothèses auprès de divers experts ainsi que la saisie et maîtrise de l'outil Systerre® ont demandé de limiter l'étude à quatre cas-types, deux espèces et une insertion avant un blé tendre. Cependant, il aurait été opportun de tester l'introduction d'autres légumineuses à graines ou encore d'évaluer les effets de l'insertion précédant une autre culture que du blé (colza de pois, maïs de soja).

Pour donner suite à cette étude, il serait judicieux d'évaluer avec plus de précision les conséquences économiques, pour les systèmes de cultures intégrant des légumineuses à graines. En effet, le développement prochain du marché du carbone pourrait permettre de valoriser en partie les bénéfices des légumineuses à graines sur la réduction des émissions carbone à l'échelle de l'exploitation.

Références bibliographiques

- AGRESTE. (2014). *Enquêtes sur les pratiques culturales 2011. La fertilisation*. Les Dossiers AGRESTE.
- Agrete Grand-Est. (2021). *Memento de la statistique agricole - Grand-Est 2020*.
- Agrete Ile-de-France. (2017). *Memento de la statistique agricole 2017*.
- Ballot, R. (2009). *Prise en compte de facteurs agronomiques dans les indicateurs de rentabilité : impact de la succession culturale sur la gestion de l'enherbement*. Mémoire de fin d'études ESA Angers (co-encadrement UNIP).
- Bouviau, M. (2012). *Produire des légumineuses à graines biologiques pour l'alimentation animale*. Mémoire de fin d'études, Paris.
- Carrouée, B., Schneider, A., Flénet, F., Jeuffroy, M., & Nemecek, T. (2012). Introduction du protéagineux dans des rotations à base de céréales à paille et colza : impacts sur les performances économiques et environnementales. *Innovations Agronomiques* 25, 125-142.
- Cernay, C., Makowski, D., Lescoat, P., & Pelzer, E. (2017). Comparaison des performances de différentes espèces de légumineuses à graines. (INRAE, Éd.) *Innovations Agronomiques*, 60.
- Charles Cernay, T. B.-A.-M. (2015). Estimating variability in grain legume yields across Europe and the Americas. *Scientific Reports*.
- Colbach, N., Duby, C., Cavelier, A., & Meynard, J. (1997). Influence of cropping systems on foot and root diseases of winter wheat. Fitting of a statistical model. *European Journal of Agronomy*(6), 61-77.
- Dold C., B. H. (2017). Long-term Carbon Uptake of Agro-ecosystems in the Midwest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 232.
- Jensen, E., Peoples, M., Boddey, R., Gresshoff, P., Hauggaard-Nielsen, A., & Malcom, M. (2012). Legumes for mitigation of climate change and the provision of feedstock for biofuels and biorefineries. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32(2), 329-364.
- Jouy, L. (2011, Février 11). *Fiche outil SYSTERRE, Plate-forme d'évaluation Agri-Environnementale (PLAGE)*. Consulté le 03 20, 2021, sur Eryptage.
- Kalamvrezos Navarro, D. (2018). L'économie mondiale des légumineuses à graines. *Rencontres Francophones des Légumineuses - 2ème édition*, (p. 22). Toulouse.
- Lacampagne, Jean-Paul; Terres Univia. (2019). Productions et marchés du pois et de la féverole. *Carrefour pois féverole*. Paris.
- Magrini, M.-B. (2016). Les légumineuses, des graines d'avenir ? *Assemblée Générale Coopérative QUALISOL*, (p. 31). Valence d'Agen.
- Magrini, M.-B., Anton, M., Cholez, C., Corre-Hellou, G., Duc, G., Jeuffroy, M.-H., . . . Walrand, S. (2016). Why are grain-legumes rarely present in cropping systems despite their environmental and nutritional benefits ? Analyzing lock-in in the French agrifood system. *Ecological Economics*, 126, 152-162.
- Marcela P. Costa, M. R. (2021). Legume-Modifier Rotations Deliver Nutrition With Lower Environmental Impact. *Front Sustain. Food Syst*.
- Ministère de l'agriculture de l'agroalimentaire et de la forêt. (2014). *Plan protéines végétales pour la France 2014 - 2020*.

- Nemecek, T., Von Richthofen, J., Dubois, G., Casta, P., Charles, R., & Pahl, H. (2008). Environmental impacts of introducing grain legumes into European crop rotations. *Eur. J. Agron.*(28), 380-393.
- Niklas Mohring, T. D. (2020). Crop insurance and pesticide use in European agriculture. *Agricultural Systems*, 184.
- Plaza-Bonilla, D., Nolot, J., Raffailac, D., & Justes, E. (2015). Cover crops mitigate nitrate leaching in cropping systems including grain legumes : field evidence and model simulations. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 212, 1-12.
- Rusch, A., Valantin-Morison, M., Sarthou, J., & Roger-Estrade, J. (2010). Biological control of insect pests in agroecosystems : effects of crop management, farming systems and semi-natural habitats at the landscape scale. A review. *Advances in Agronomy*, 219-259.
- Schneider, A. (2021). Services des légumineuses à graines. *Rencontres Techniques Terres Inovia*.
- Schneider, A., & Huyghe, C. (2015). *Les légumineuses pour des systèmes agricoles et alimentaires durables*. Quae editions.
- Voisin, A.-S. (2018). Protéines végétales. Impacts agronomiques et environnementaux de leur production dans les systèmes agricoles français. *Colloque INNO'FIL : Tendances de consommation - Moteur d'innovation des filières alimentaires*. NOVALIM. Bourg en Bresse.
- Yigezu A. Yigezu, T. E.-S.-H. (2019). Legume-based rotations have clear economic advantages over cereal monocropping in dry areas. *Agronomy for sustainable Development*, 39 : 58.

Liste des figures

Figure 1 : Evolution mondiale de la production de légumineuses à graines par région (1960 - 2018) (Kalamvrezos Navarro, 2018)	2
Figure 2: Répartition de la production du pois dans l'UE par pays (Terres Univia d'après Eurostat et autres).....	3
Figure 3 : Répartition de la production de féverole dans l'UE par pays (Terres Univia d'après Eurostat et autres)	3
Figure 4 : Evolution des surfaces de légumineuses à graines (2000-2020) (Terres Inovia)	3
Figure 5: Evolution des surfaces de protéagineux en France (1980-2019) (Terres Inovia).....	3
Figure 6 : Cartes des surfaces cantonales du pois de printemps, pois d'hiver, féveroles et soja en 2019 (ASP, données administratives de déclarations de surfaces 2019, Terres Inovia)	4
Figure 7 : Carte des sylvoécorégions du Nord Est (personnelle avec les données de (Inventaire Forestier National, 2011)).....	9
Figure 8 : Indicateurs économiques pour percevoir la rentabilité d'un système de culture (Berrodier, 2021).....	13
Figure 9 : Classification des légumineuses en fonction de la teneur en azote atmosphérique. (Schneider, 2021)	14
Figure 10 : Présentation des hypothèses des effets précédents du pois sur le blé suivant considéré pour l'étude. (personnelle)	15
Figure 11 : Carte présentant les fermes-types étudiées et les légumineuses à graines testées.	16
Figure 12: Rotation de la ferme type Champagne crayeuse	17
Figure 13: Rotation de la ferme type Champagne crayeuse avec insertion d'un pois d'hiver	17
Figure 14: Rotations de la ferme-type Barrois.	17
Figure 15 : Rotations de la ferme-type Barrois avec insertion d'un pois de printemps.....	18
Figure 16: Rotations de la ferme-type Champagne humide.	18
Figure 17 : Rotations de la ferme-type Champagne humide avec insertion d'un pois de printemps.	19
Figure 18: Rotation de la ferme-type Brie.	19
Figure 19: Rotation de la ferme-type Brie avec féverole de printemps.....	20
Figure 20: Rotation de la ferme-type Brie avec pois d'hiver.....	20
Figure 21: Comparaison des résultats économiques (Produit brut total, charges intrants total et marge brute avec aides) de trois fermes-types simulées sur Systerre par rapport aux résultats de l'analyse des exploitations par territoire du CER France CNEIDF réalisée en 2020.	21
Figure 22: Comparaison des charges en intrants (Charges engrais, charges semences et charges en produits phytosanitaires) de trois fermes-types simulées sur Systerre par rapport aux résultats de l'analyse des exploitations par territoire du CER France CNEIDF réalisée en 2020.	21
Figure 23: Evolution des indicateurs sociaux de la ferme-type Champagne crayeuse sans et avec légumineuse.	23
Figure 24: Evolution des indicateurs sociaux de la ferme-type Barrois sans et avec légumineuse.	24
Figure 25: Evolution des indicateurs sociaux de la ferme-type Champagne humide sans et avec légumineuse. .	25
Figure 26: Evolution des indicateurs sociaux de la ferme-type Brie sans et avec féverole de printemps.....	27
Figure 27: Evolution des indicateurs sociaux de la ferme-type Brie sans et avec pois d'hiver.	28
Figure 28: Graphiques présentant les évolutions de la marge nette avec aides des fermes-types avec pois protéagineux fonction du prix du pois considéré. La marge nette avec aides des fermes-types sans légumineuse sont indiquées.	29
Figure 29 : Evolution de la marge nette avec aides de la ferme-type brie avec féverole de printemps en fonction du prix de la féverole considéré. La marge nette avec aides de la ferme-type Brie sans légumineuse est indiquée.	30
Figure 30: Evolution de la marge nette avec aides (€/ha) des quatre fermes-types (sans et avec insertion du pois) étudiées en fonction de trois contextes économiques : "Prix bas", "Prix moyens" et "Prix élevés".	31
Figure 31: Analyse de sensibilité des Marges Nettes avec aides aux effets précédents considérés pour la ferme-type Champagne Crayeuse et pour la ferme-type Barrois	32
Figure 32 : Comparaison des évolutions de la marge nette avec aides, à l'échelle du système de culture, des fermes-types en fonction de la légumineuse à graines insérée	34
Figure 33 : Comparaison des effets de l'insertion d'un pois de printemps sur la marge nette avec aides de la ferme-type Barrois étudiée par rapport à une ferme-type Barrois en rotation courte.	35
Figure 34 : Evolution de la marge nette avec aides (€/ha) de la ferme-type Barrois en fonction des rendements moyens des 5 dernières années du pois de printemps sur le territoire.	36

Liste des tableaux

<i>Tableau 1 : Rendements moyens (q/ha) des cultures considérées dans les fermes-types (Rendements moyens (2011 – 2019-20) sans extremum – Synthèse des pratiques culturales – Végélia – Juin 2020 ; adaptés aux dires d’experts locaux)</i>	<i>11</i>
<i>Tableau 2: Prix de vente moyens des cultures considérés dans les fermes-types (Prix indicatif (moyenne 2016-2020), V. Lecomte, Terres Inovia, Juin 2021 ; adaptés aux dires d’experts locaux) AA : Alimentation Animale / AH : Alimentation Humaine</i>	<i>11</i>
<i>Tableau 3 : Evolution des indicateurs de la ferme-type Champagne crayeuse avec pois d’hiver par rapport à la ferme-type de référence, calculés à l’aide du logiciel Systerre.....</i>	<i>22</i>
<i>Tableau 4: Evolution des indicateurs de la ferme-type Barrois avec pois de printemps par rapport à la ferme-type de référence, calculés à l’aide du logiciel Systerre.</i>	<i>23</i>
<i>Tableau 5: Evolution des indicateurs de la ferme-type Champagne humide avec pois de printemps par rapport à la ferme-type de référence, calculés à l’aide du logiciel Systerre.....</i>	<i>24</i>
<i>Tableau 6: Evolution des indicateurs de la ferme-type Brie avec féverole de printemps par rapport à la ferme-type de référence, calculés à l’aide du logiciel Systerre.</i>	<i>26</i>
<i>Tableau 7: Evolution des indicateurs de la ferme-type Brie avec pois de printemps par rapport à la ferme-type de référence, calculés à l’aide du logiciel Systerre.</i>	<i>27</i>
<i>Tableau 8 : Hypothèses de prix de ventes des cultures, des engrais azotés et de l’énergie pour les trois contextes économiques étudiés.</i>	<i>31</i>
<i>Tableau 9 : Marge nette avec aides à la culture du pois de printemps dans la ferme-type Barrois en fonction de son prix de vente et de son rendement. Comparée à la marge nette à l’échelle de la rotation de la ferme-type Barrois sans légumineuse.....</i>	<i>37</i>
<i>Tableau 10 : Sources d’expertise des itinéraires techniques pratiqués dans les différentes fermes-types étudiées.</i>	<i>38</i>

Annexe

Annexe 1 : Méthodes de calcul des indicateurs Systerre[®]

Source : ARVALIS-Institut du végétal, Durabilité des systèmes de culture : décrire, suivre et évaluer un système de culture avec SYSTERRE[®] : Les indicateurs, Marc Berrodier, le 11 mars 2021.

Indicateurs	Méthode de calcul	Signification
Indicateurs économiques		
Produit brut (€/ha)	$\Sigma(\text{rendements} \times \text{prix de vente} \times \text{surfaces})$	Produit dégagé par la vente des produits récoltés (hors aides)
Charges opérationnelles (ou charges d'intrants totales) (€/ha)	$\Sigma(\text{quantités apportées} \times \text{prix d'achat} \times \text{surfaces})$	Dépenses liées à l'achat d'intrants (semences, engrais, irrigation, autres intrants, ...)
Marge brute (€/ha)	Produit brut – charges opérationnelles (- aides PAC)	Indicateur de rentabilité
Charges de mécanisation (€/ha)	Comprend : l'amortissement technique du matériel, frais financiers, entretien et réparation du matériel, consommation de fioul, coûts liés à la location ou l'appel à entreprise de travaux agricoles	
Charges main d'œuvre (€/ha)	Charges salariales, charges main d'œuvre familiale, et la MSA	
Autres charges fixes (€/ha)	Comprend les charges diverses et le fermage.	
Marge directe (€/ha)	Marge Brute (avec/hors aides PAC) – Charges de méca – Charges main d'œuvre – Autres charges fixes)	Indicateur de rentabilité
Marge nette (€/ha)	Marge Directe (avec/hors aides PAC) – Fermage - Charges directes	Indicateur de rentabilité
Aides PAC	Aides découplées + aides couplées.	
Indicateurs sociaux		
Temps de travail (h/ha)	$\Sigma(\text{surfaces traitées} / \text{débit de chantier}) / \text{SAU}$	Temps de traction
Indicateurs environnementaux		
Indice de Fréquence de Traitement (IFT)	IFT parcelle = $\Sigma ((\text{Dose appliquée} / \text{Dose d'homologation}) \times \text{proportion de surface traitée})$	Quantité de doses homologuées appliquées sur une surface. Ne prend pas en compte la dangerosité des produits.
Production d'énergie brute (MJ/ha)	$\Sigma(\text{rendement} \times \text{contenu énergétique})$	Quantité d'énergie brute (mesurée par bombe calorimétrique) contenue dans les produits récoltés
Consommation d'énergie primaire totale (MJ/ha)	Energie directement consommée par l'agriculteur (énergie utile) + énergie nécessaire à la production et la distribution des produits agricoles	
Emission de GES (kg éqCO₂/ha)	Cumul des émissions de CO ₂ , CH ₄ et N ₂ O pondérées par des coefficients propres à chaque gaz, fonctions de leur pouvoir de réchauffement global (PRG8) et de leur durée de vie différentes	

Annexe 2 : Présentation des fermes-types

Ferme-type Champagne crayeuse

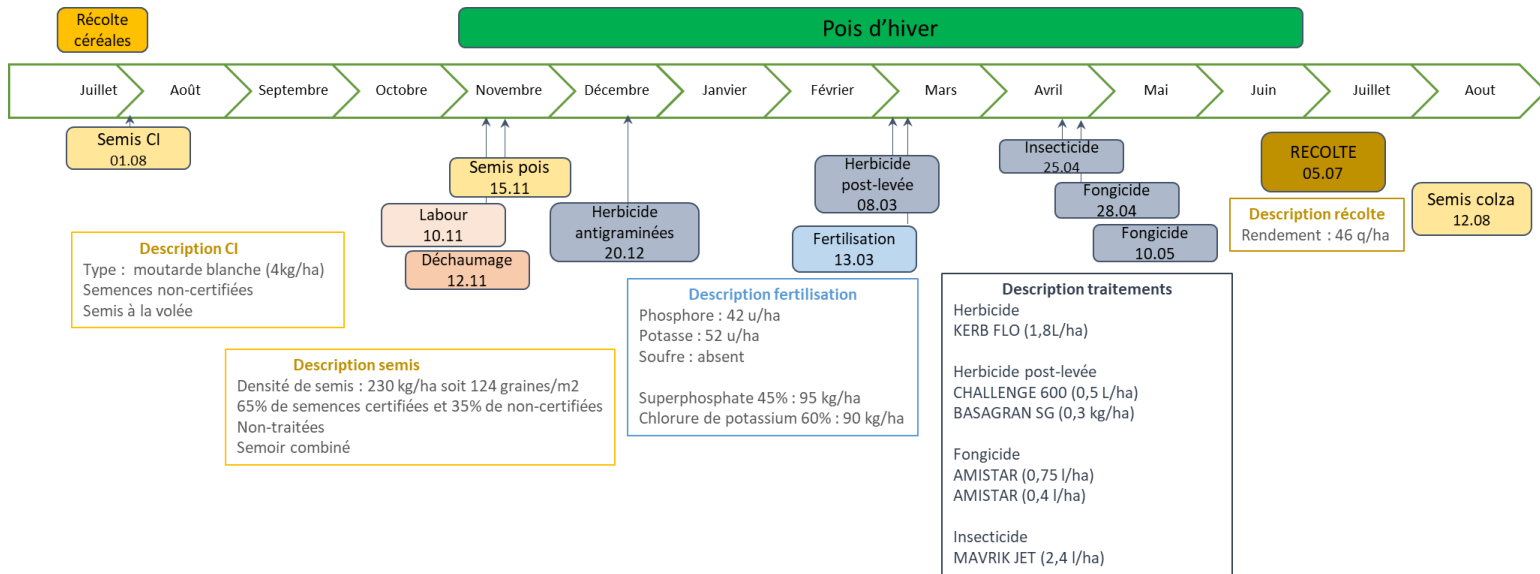


Figure 35: Itinéraire technique du pois d'hiver suivi dans la ferme-type Champagne crayeuse

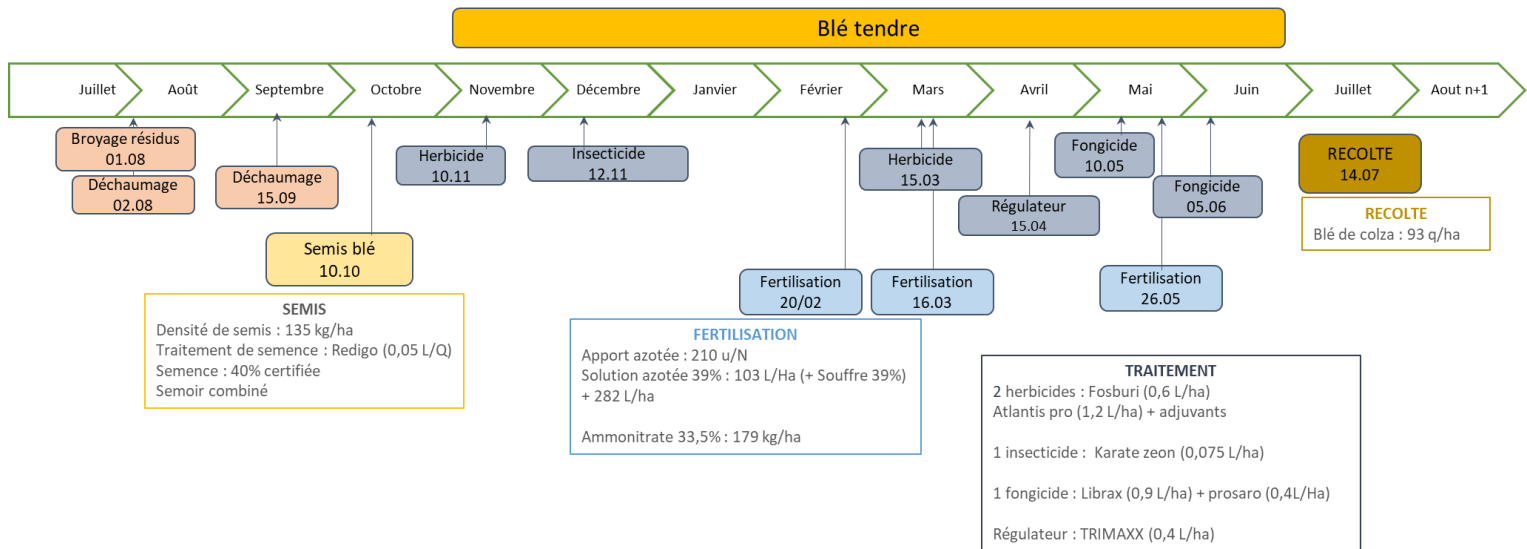


Figure 36 : Itinéraire technique du blé de colza suivi dans la ferme-type Champagne crayeuse

Ferme-type Barrois

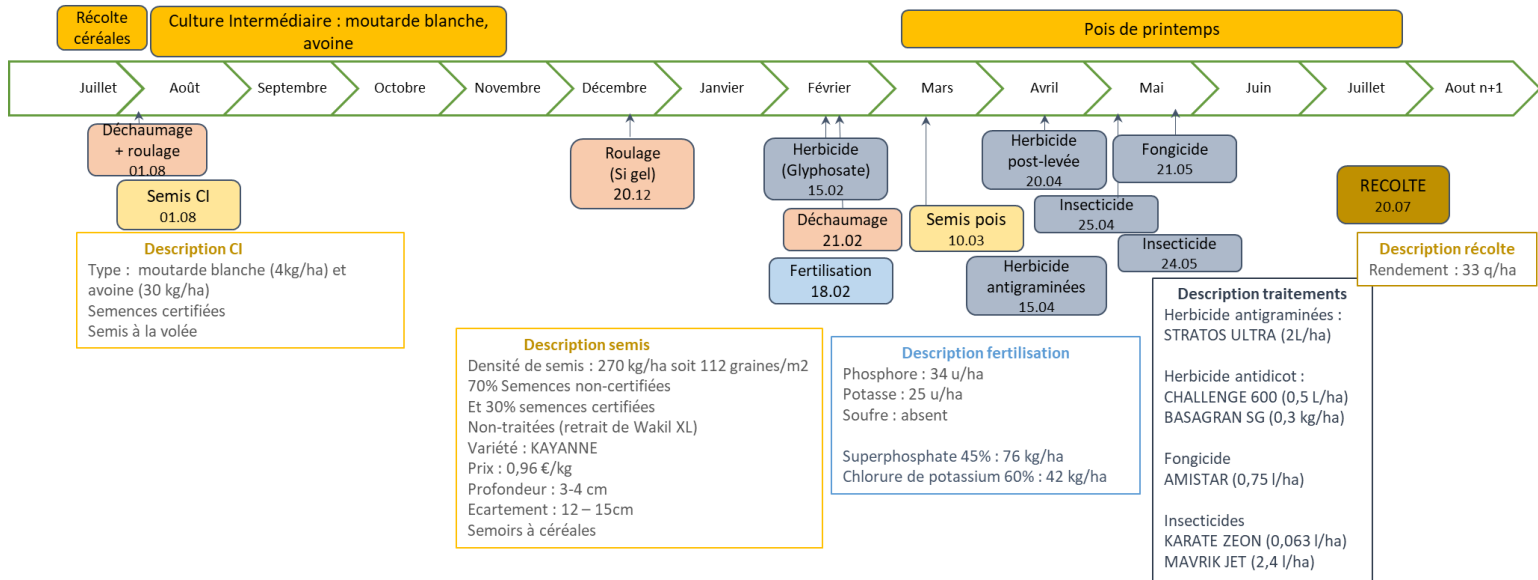


Figure 37 : Itinéraire technique du pois de printemps suivi dans la ferme-type Barrois

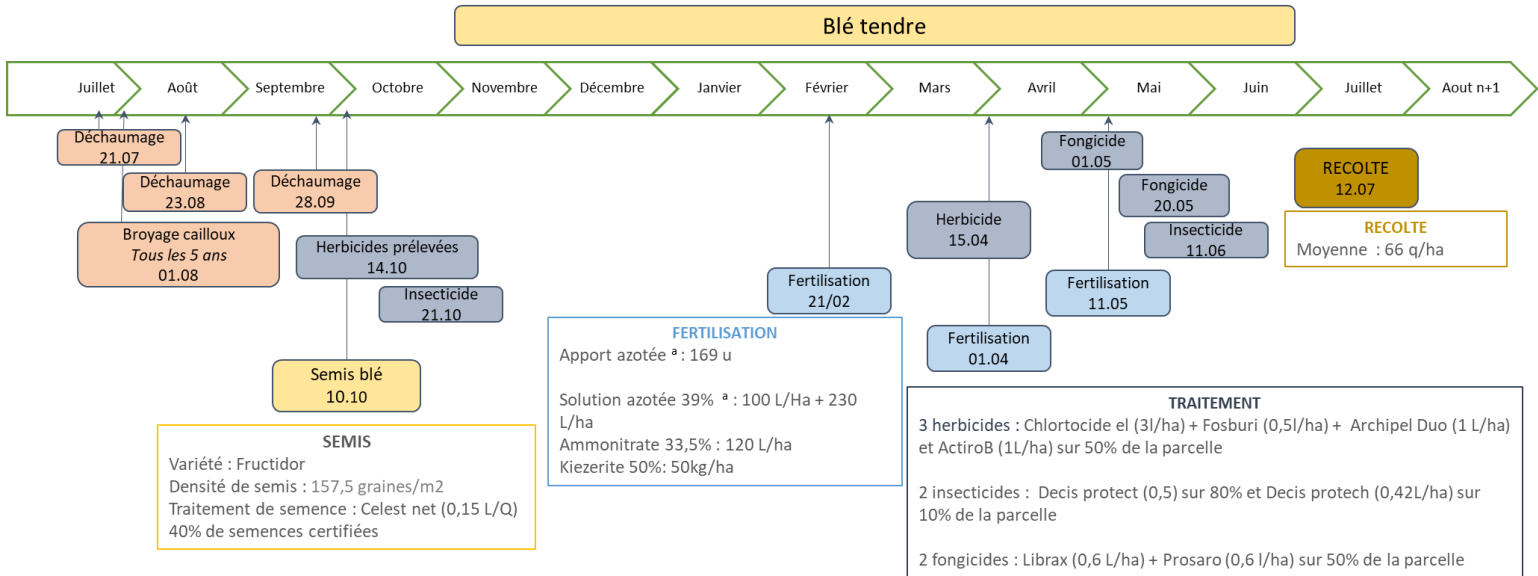


Figure 38 : Itinéraire technique du blé de colza suivi dans la ferme-type Barrois

Ferme-type Champagne Humide

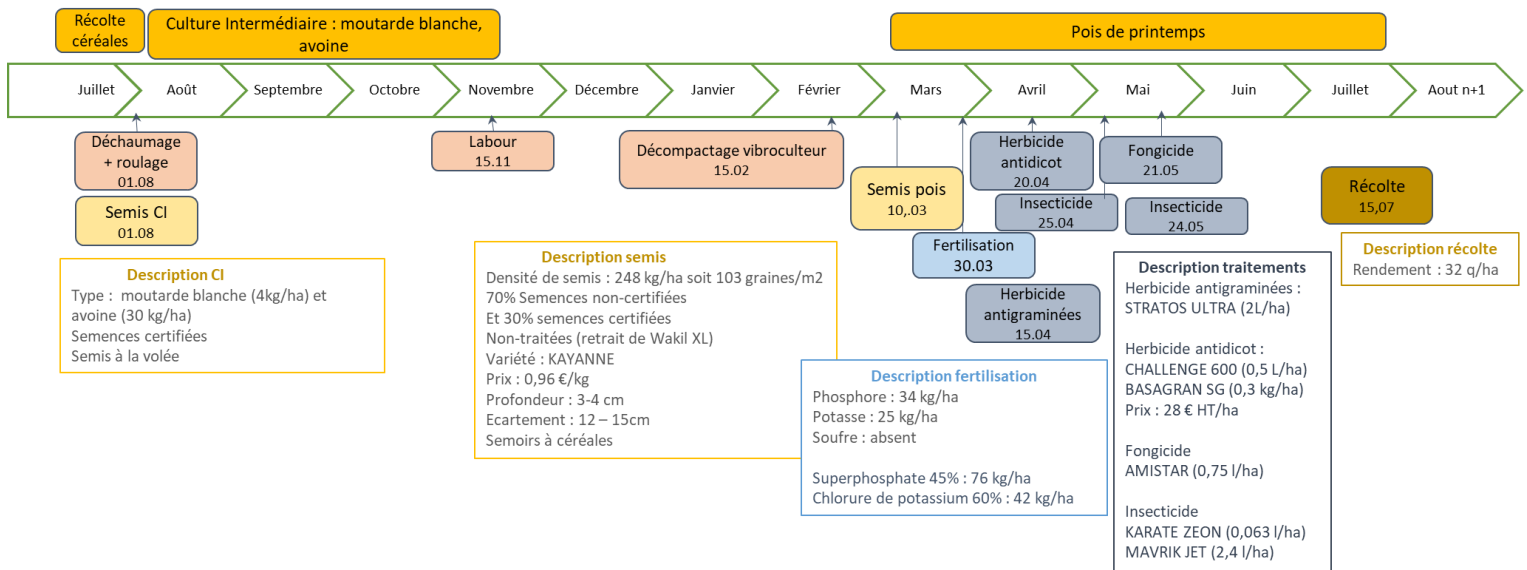


Figure 39 : Itinéraire technique du pois de printemps suivi dans la ferme-type Champagne humide

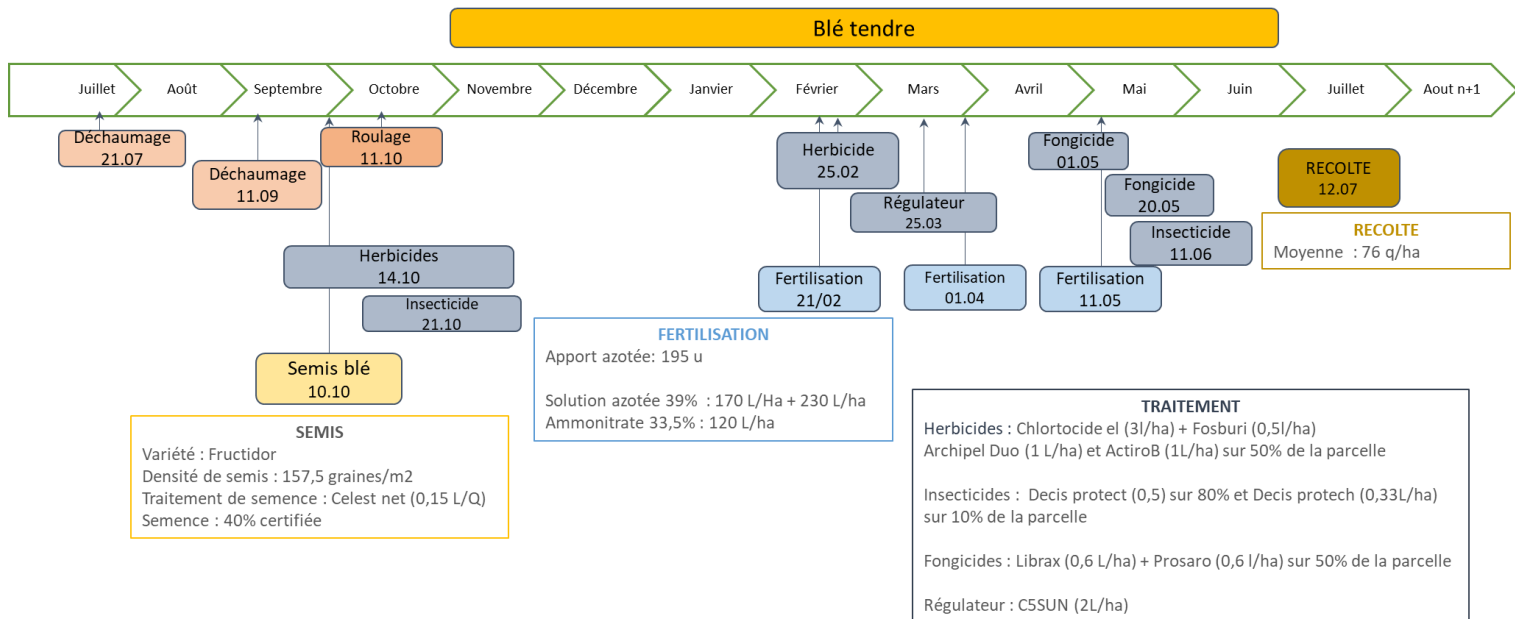


Figure 40 : Itinéraire technique du blé de colza suivi dans la ferme-type Champagne humide

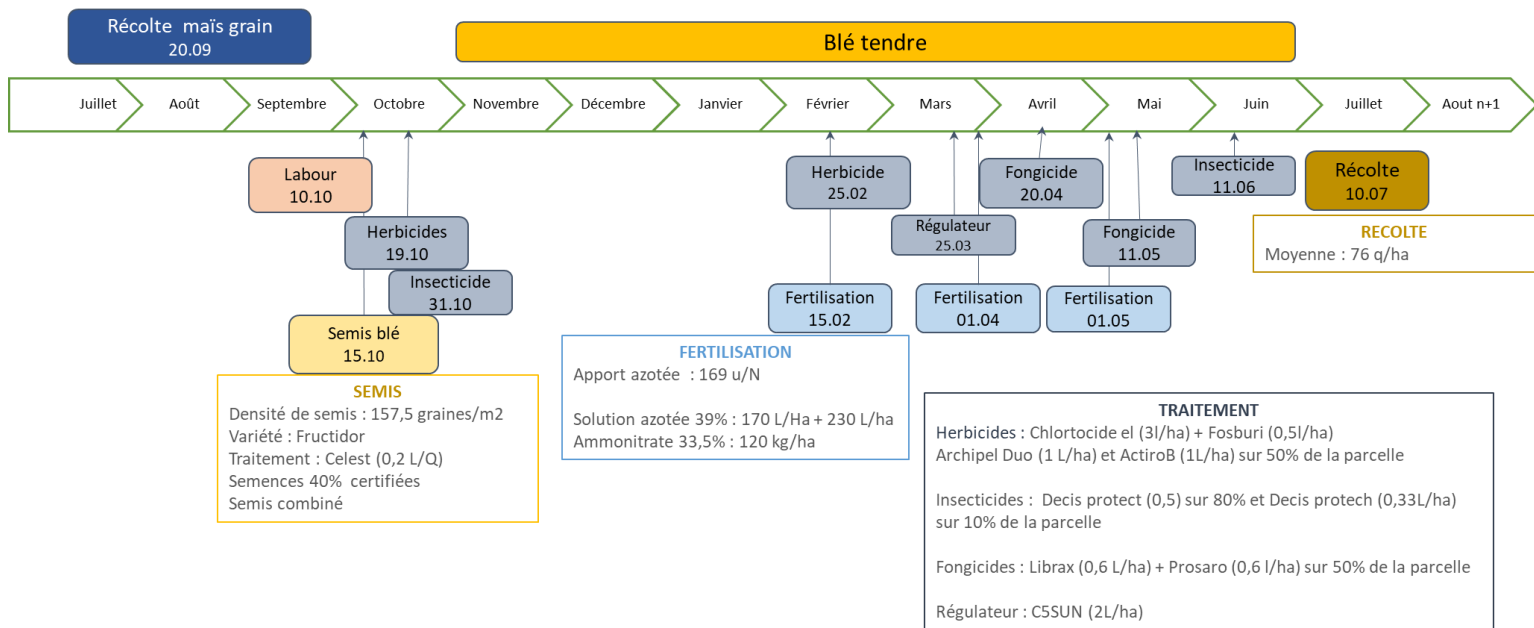


Figure 41 : Itinéraire technique du blé de maïs suivi dans la ferme-type Champagne humide

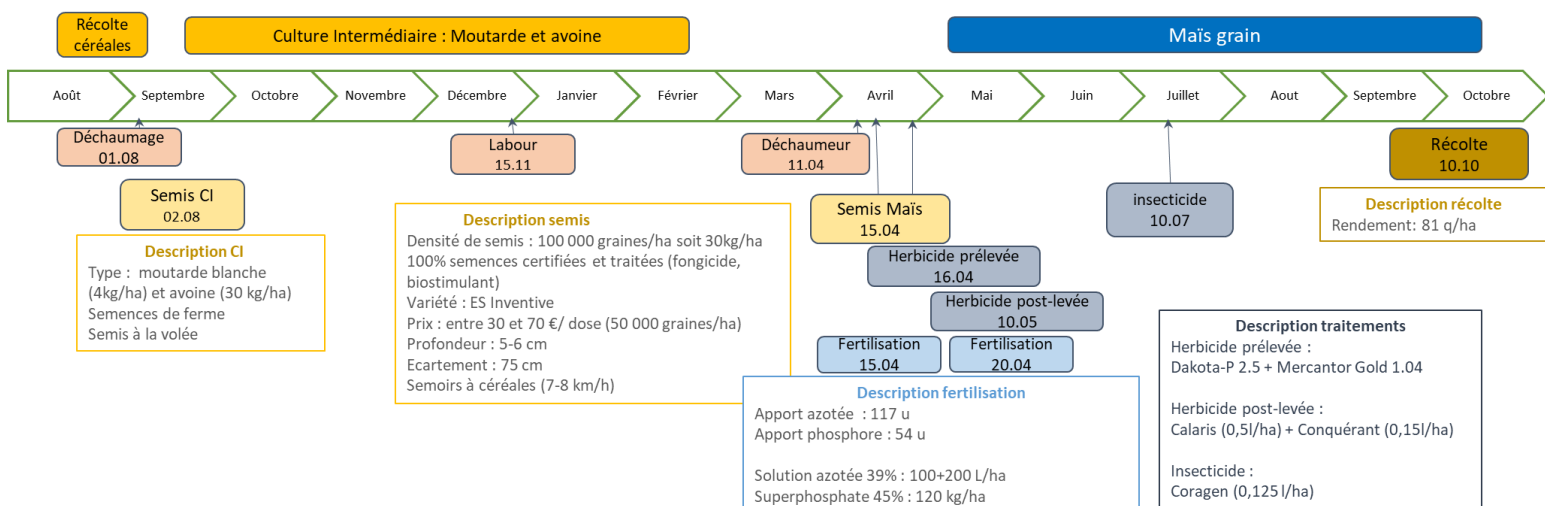


Figure 42 : Itinéraire technique du maïs grain suivi dans la ferme-type Champagne humide

Ferme-type Brie

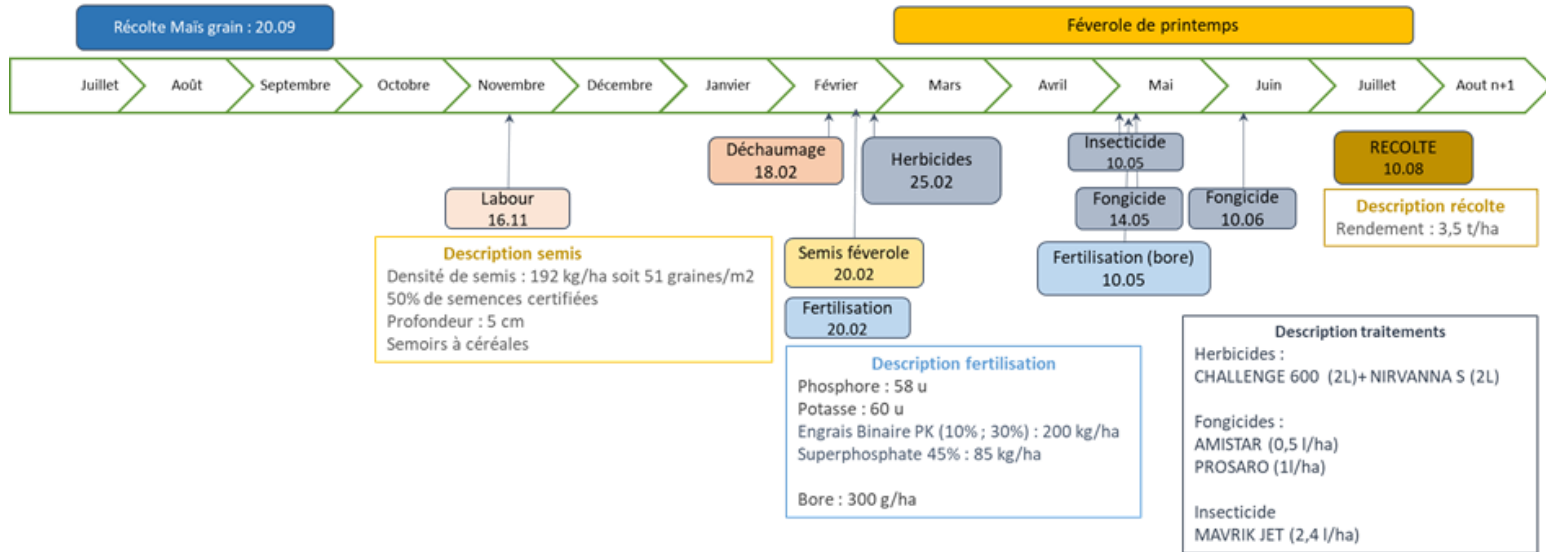


Figure 43 : Itinéraire technique de la féverole de printemps suivi dans la ferme-type Brie

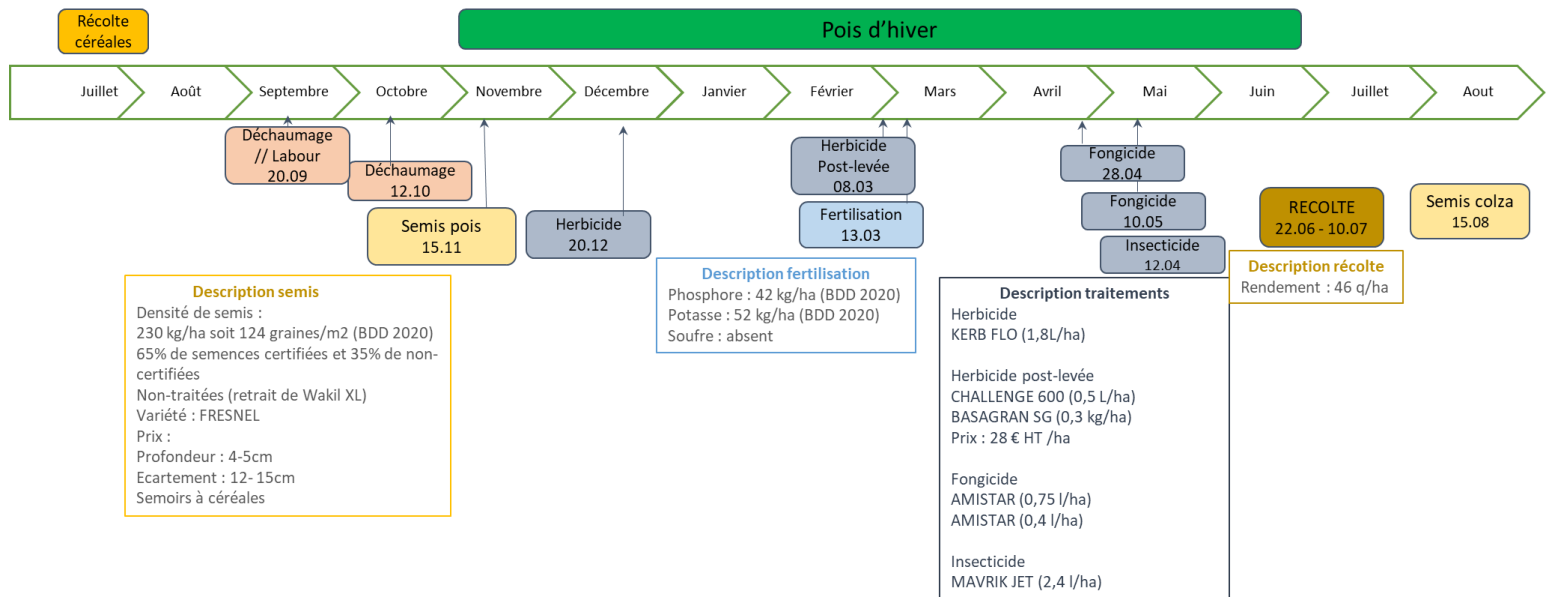


Figure 44 : Itinéraire technique de la pois d'hiver suivi dans la ferme-type Brie

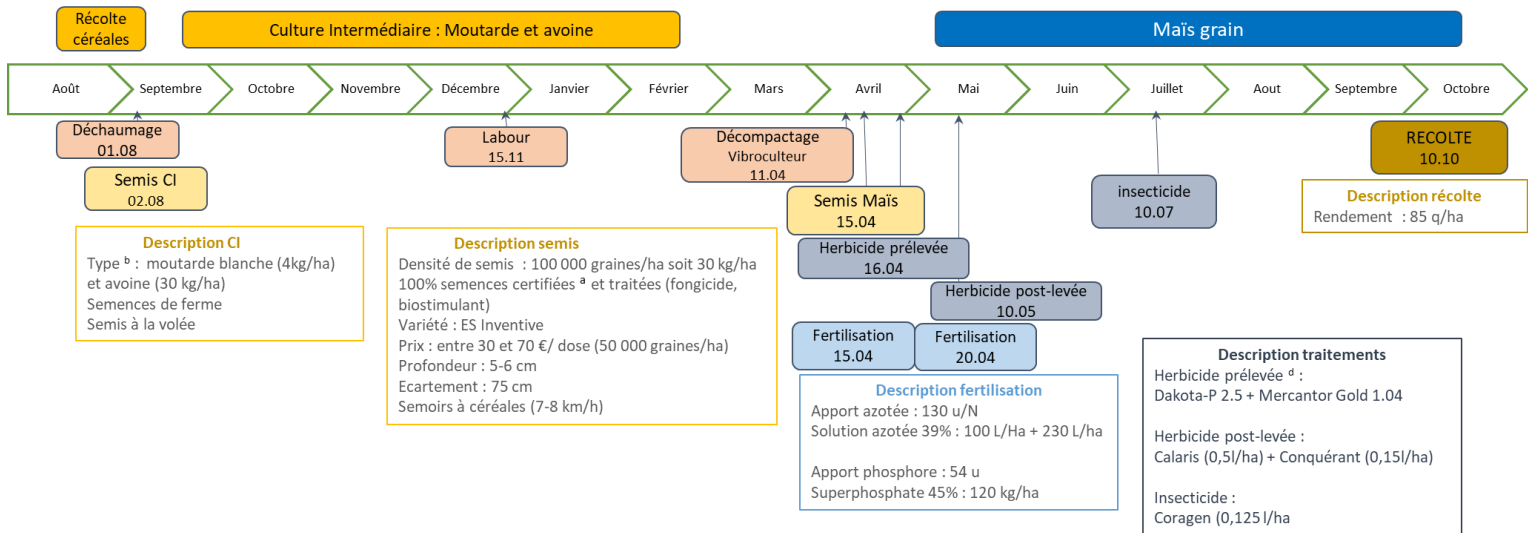


Figure 45 : Itinéraire technique du maïs grain suivi dans la ferme-type Brie

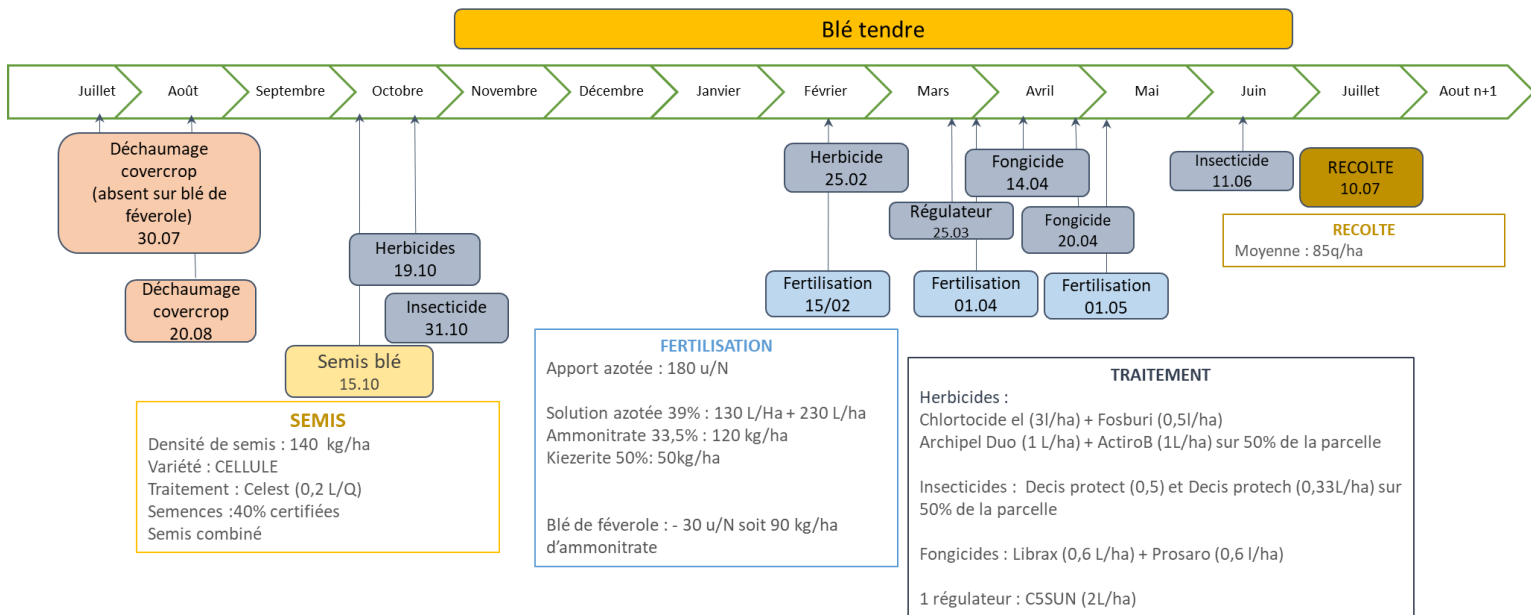


Figure 46 : Itinéraire technique du blé de colza suivi dans la ferme-type Brie

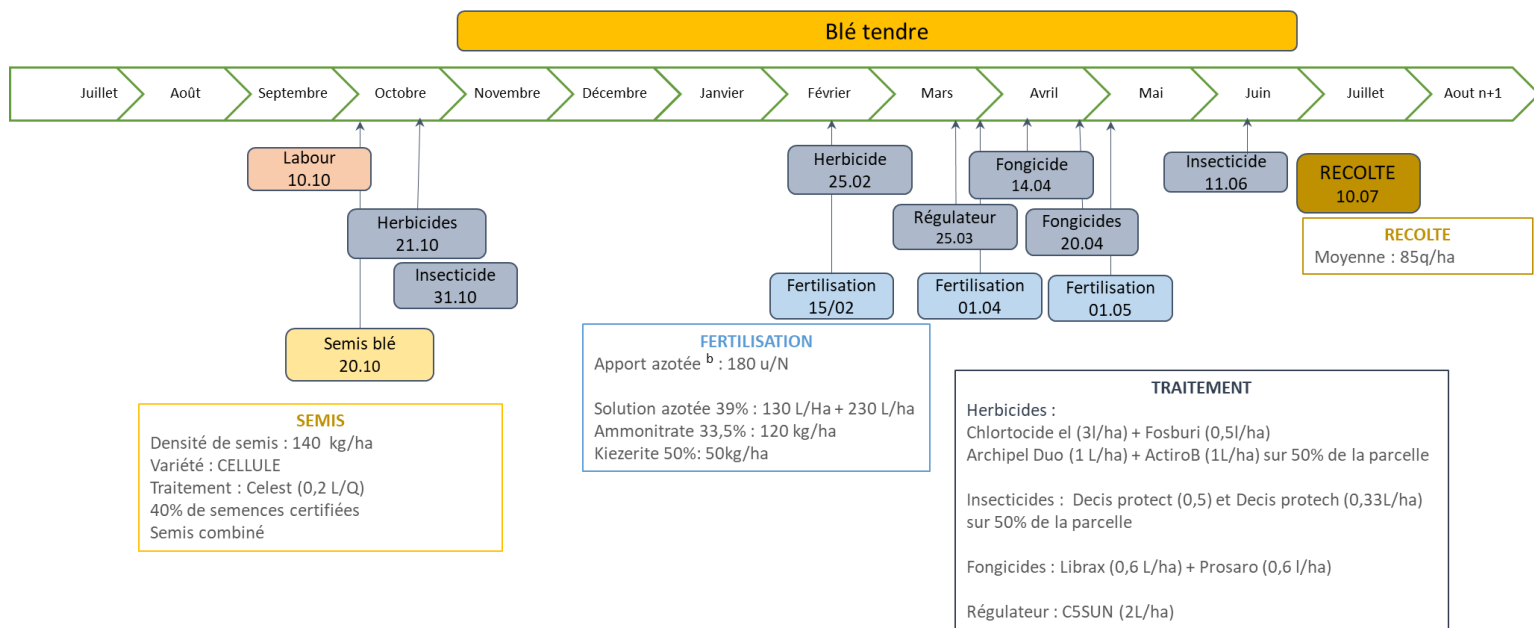


Figure 47 : Itinéraire technique du blé de maïs grain suivi dans la ferme-type Brie

Annexe 3 : Présentation des résultats par cultures

Ferme-type Champagne crayeuse

	Blé de colza	Blé de betterave	Blé de pois	Orge de printemps	Betterave	Colza d'hiver	Pois d'hiver
Rendement (t/ha)	9,30	9,10	9,47	7,40	86,00	3,20	4,60
Prix de vente (€/t)	155,00	155,00	155,00	175,00	24,00	360,00	233,00
Produit brut (€/ha)	1678,50	1647,50	1704,85	1532,00	2301,00	1389,00	1454,80
Ch Intrants Total (€/ha)	426,67	471,70	401,92	393,00	961,52	540,18	376,46
Ch Semences (€/ha)	64,40	109,42	64,40	111,18	325,75	41,64	171,30
Ch Engrais (€/ha)	174,57	174,57	149,82	123,01	327,99	255,54	66,60
Ch Phytos (€/ha)	187,71	187,71	187,71	158,82	287,77	202,00	138,56
Ch Herbicides (€/ha)	93,98	93,98	93,98	86,66	187,73	109,59	85,38
Ch Fongicides (€/ha)	61,94	61,94	61,94	59,64	74,65	33,22	29,78
Ch Insecticides (€/ha)	7,50	7,50	7,50	0,00	7,50	59,19	23,40
Ch Molluscicides (€/ha)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ch Régulateurs (€/ha)	16,00	16,00	16,00	8,93	0,00	0,00	0,00
Ch Adjuvants (€/ha)	8,28	8,28	8,28	3,58	17,90	0,00	0,00
Marge Brute hors aides (€/ha)	1014,83	938,80	1065,93	902,00	1102,48	611,82	695,34
Marge Brute avec aides (€/ha)	1251,83	1175,80	1302,93	1139,00	1339,48	848,82	1078,34
Marge Directe avec aides (€/ha)	749,76	700,84	846,70	619,03	465,76	371,59	566,11
Marge Nette avec aides (€/ha)	483,76	434,84	580,70	353,03	199,76	105,59	300,11

Figure 48: Résultats des principaux indicateurs économiques à l'échelle des cultures pour la ferme-type Champagne Crayeuse

Ferme-type Barrois

	Blé de colza	Blé de tournesol	Blé de pois	Orge d'hiver	Orge de printemps	Colza d'hiver	Tournesol	Pois de printemps
Rendement (t/ha)	6,70	6,65	6,87	6,10	4,80	2,80	2,30	3,30
Prix de vente (€/t)	155,00	155,00	155,00	175,00	175,00	360,00	340,00	233,00
Produit brut (€/ha)	1247,50	1239,75	1273,85	1276,50	1049,00	1217,00	991,00	1123,90
Ch Intrants Total (€/ha)	399,57	399,72	374,97	354,08	326,85	505,64	331,39	328,45
Ch Semences (€/ha)	92,29	92,29	92,29	77,32	124,28	47,56	128,76	158,86
Ch Engrais (€/ha)	154,10	154,10	129,35	125,30	116,30	213,60	94,11	46,62
Ch Phytos (€/ha)	153,18	153,33	153,33	151,46	86,27	244,48	108,53	122,96
Ch Herbicides (€/ha)	99,47	99,47	99,46	92,74	47,11	138,55	96,41	73,21
Ch Fongicides (€/ha)	44,33	44,33	44,33	50,88	35,90	36,30	0,00	19,42
Ch Insecticides (€/ha)	7,38	7,54	7,54	0,00	0,00	69,63	12,11	30,33
Ch Molluscicides (€/ha)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ch Régulateurs (€/ha)	0,00	0,00	0,00	6,52	3,26	0,00	0,00	0,00
Ch Adjuvants (€/ha)	2,00	2,00	2,00	1,32	0,00	0,00	0,00	0,00
Marge Brute hors aides (€/ha)	638,93	631,03	689,88	713,42	513,15	502,36	450,61	440,45
Marge Brute avec aides (€/ha)	847,93	840,03	898,88	922,42	722,15	711,36	659,61	795,45
Marge Directe avec aides (€/ha)	310,79	333,59	523,63	551,77	293,01	325,70	277,51	387,76
Marge Nette avec aides (€/ha)	92,79	115,59	305,63	333,77	75,01	107,70	59,51	169,76

Figure 49 : Résultats des principaux indicateurs économiques à l'échelle des cultures pour la ferme-type Barrois

Ferme-type Champagne humide

	Blé de colza	Blé de maïs	Blé de tournesol	Blé de pois	Maïs grain	Orge d'hiver	Colza d'hiver	Tournesol	Pois de printemps
Rendement (t/ha)	7,70	7,57	7,65	7,87	8,10	6,90	3,20	2,80	3,20
Prix de vente (€/t)	155,00	155,00	155,00	155,00	135,00	175,00	360,00	340,00	233
Produit brut (€/ha)	1402,50	1382,35	1394,75	1428,85	1302,50	1416,50	1361,00	1161,00	1100,60
Ch Intrants Total (€/ha)	424,57	424,57	424,57	399,82	471,45	357,51	516,89	319,82	313,32
Ch Semences (€/ha)	92,29	92,29	92,29	92,29	213,80	77,32	47,56	137,16	159,20
Ch Engrais (€/ha)	175,10	175,10	175,10	150,35	140,40	134,30	225,60	100,11	46,62
Ch Phytos (€/ha)	157,18	157,18	157,18	157,18	117,25	145,90	243,73	82,56	107,50
Ch Herbicides (€/ha)	99,47	99,47	99,47	99,47	85,37	87,18	138,55	70,44	58,37
Ch Fongicides (€/ha)	44,33	44,33	44,33	44,33	0,00	50,88	36,30	0,00	19,42
Ch Insecticides (€/ha)	7,38	7,38	7,38	7,38	31,88	0,00	68,88	12,11	29,70
Ch Molluscicides (€/ha)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ch Régulateurs (€/ha)	4,00	4,00	4,00	4,00	0,00	6,52	0,00	0,00	0,00
Ch Adjuvants (€/ha)	2,00	2,00	2,00	2,00	0,00	1,32	0,00	0,00	0,00
Marge Brute hors aides (€/ha)	768,93	748,78	761,18	820,03	622,05	849,99	635,11	632,18	432,29
Marge Brute avec aides (€/ha)	977,93	957,78	970,18	1029,03	831,05	1058,99	844,11	841,18	787,29
Marge Directe avec aides (€/ha)	625,36	569,75	619,94	676,46	371,24	646,95	481,77	403,44	334,21
Marge Nette avec aides (€/ha)	407,36	351,75	401,94	458,46	153,24	428,95	263,77	185,44	116,21

Figure 50 : Résultats des principaux indicateurs économiques à l'échelle des cultures pour la ferme-type Champagne humide

Ferme-type Brie

	Blé de colza	Blé de maïs	Blé de féverole	Maïs grain	Orge d'hiver	Colza d'hiver	Féverole de printemps	Pois d'hiver
Rendement (t/ha)	8,60	8,47	8,77	9,00	7,50	3,50	3,50	4,60
Prix de vente (€/t)	155,00	155,00	155,00	135,00	175,00	360,00	225,00	233,00
Produit brut (€/ha)	1556,00	1535,85	1582,35	1438,00	1535,50	1483,00	1156,50	1440,80
Ch Intrants Total (€/ha)	421,01	421,01	396,26	488,20	401,31	518,56	403,62	380,24
Ch Semences (€/ha)	85,40	85,40	85,40	228,20	75,20	54,00	175,36	170,43
Ch Engrais (€/ha)	163,10	163,10	138,35	142,20	140,90	224,70	93,71	66,60
Ch Phytos (€/ha)	172,51	172,51	172,51	117,80	185,21	239,86	134,55	143,21
Ch Herbicides (€/ha)	101,35	101,35	101,35	85,93	103,00	134,50	75,20	90,02
Ch Fongicides (€/ha)	53,33	53,33	53,33	0,00	53,49	36,30	35,95	29,78
Ch Insecticides (€/ha)	11,97	11,97	11,97	31,88	0,00	69,06	23,40	23,40
Ch Molluscicides (€/ha)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ch Régulateurs (€/ha)	4,00	4,00	4,00	0,00	25,00	0,00	0,00	0,00
Ch Adjuvants (€/ha)	1,86	1,86	1,86	0,00	3,72	0,00	0,00	0,00
Marge Brute hors aides (€/ha)	911,99	891,84	963,09	726,80	911,19	741,44	383,88	691,57
Marge Brute avec aides (€/ha)	1134,99	1114,84	1186,09	949,80	1134,19	964,44	752,88	1060,56
Marge Directe avec aides (€/ha)	688,48	648,60	542,14	416,59	622,09	541,29	262,95	637,26
Marge Nette avec aides (€/ha)	441,40	401,52	518,06	169,51	375,01	294,21	15,87	390,18

Figure 51 : Résultats des principaux indicateurs économiques à l'échelle des cultures pour la ferme-type Brie

Annexe 4 : Compléments à l'analyse des résultats

Une analyse de sensibilité de la rentabilité économique, de la ferme-type Barrois, est réalisée vis-à-vis des hypothèses agronomiques considérées, pour un prix du pois à 210 €/t et à 233 €/t.

Pour percevoir la rentabilité économique de la ferme-type avec légumineuse, pour différents effets précédents considérés, sa Marge Nette avec aides (MN aides) est comparée à la MN aides de la ferme-type sans légumineuse. Quatre catégories ont été créées :

- « **Très inférieur** » : MN aides (FT avec légumineuse) est inférieure de plus de 5% de la MN aides (FT sans légumineuse)
- « **Inférieur** » : MN aides (FT avec légumineuse) est inférieure de moins de 5% de la MN aides (FT sans légumineuse)
- « **Supérieur** » : MN aides (FT avec légumineuse) est supérieure de moins de 5% de la MN aides (FT sans légumineuse)
- « **Très supérieur** » : MN aides (FT avec légumineuse) est supérieure de plus de 5% de la MN aides (FT sans légumineuse)

Les catégories des MN aides obtenues en fonction de l'écart de dose azotée (-40 kgN/ha ; -25kgN/ha ; -10kgN/ha) et de l'écart de rendement (-3 q/ha ; +1,7 q/ha ; +4 q/ha) du blé de pois par rapport au blé de colza considérés sont présentés dans la Figure 54.

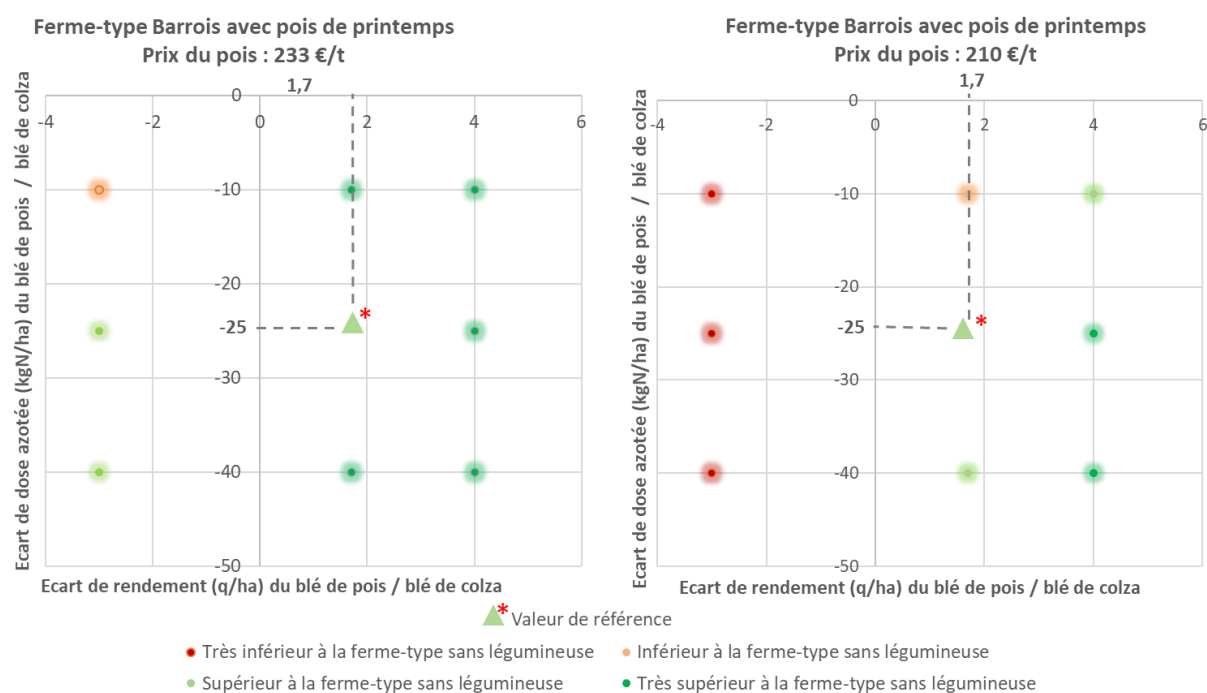


Figure 52 : Analyse de sensibilité des Marges Nettes avec aides aux effets précédents considérés pour la ferme-type Barrois, pour différents prix du pois protéagineux : 233 €/t (à gauche) et 210 €/t (à droite).

Une meilleure stabilité de la rentabilité économique de la ferme-type Barrois, vis-à-vis des effets précédents considérés, est observée pour un prix du pois à 233 €/t par rapport à 210 €/t. Le prix de vente du pois semble jouer un rôle plus important que les effets précédents considérés dans l'intérêt économique de l'insertion de la légumineuse dans les fermes-types du Nord-Est.

Annexe 5 : Compléments à l'analyse de la discussion

La Figure 53 présente l'impact de l'évolution du rendement du pois de printemps, obtenu sur le territoire de la Champagne Humide ces 5 dernières années, sur le résultat économique du système de culture. Ces résultats sont à prendre avec précaution car ils ne prennent pas en compte les variations de rendement des autres cultures de la ferme-type.

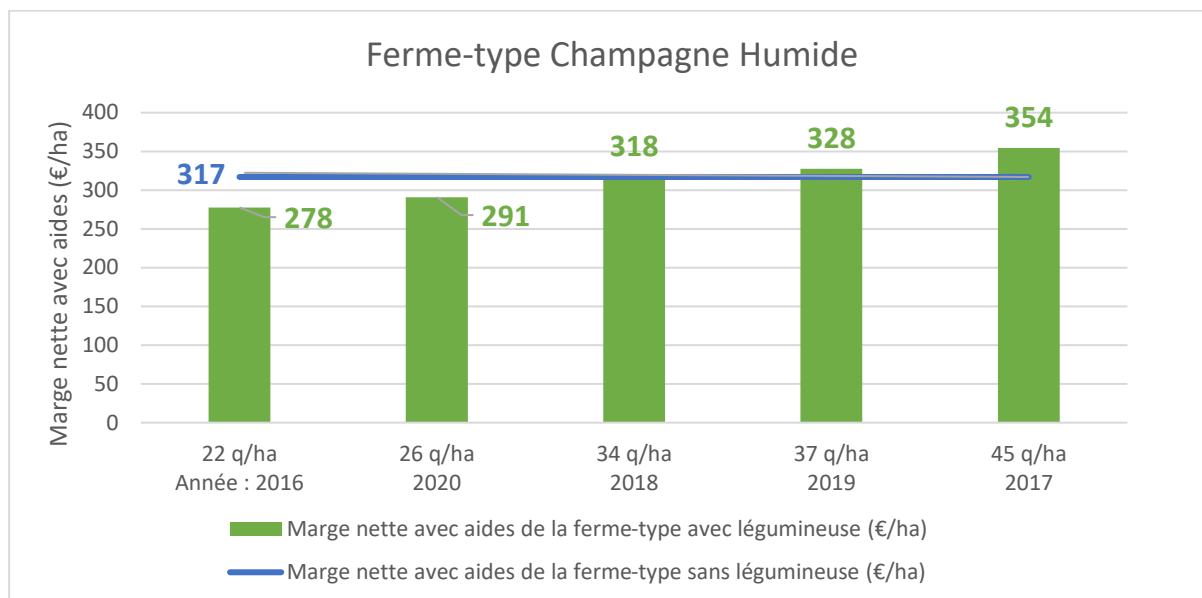


Figure 53 : Evolution de la marge nette avec aides (€/ha) de la ferme-type Champagne humide en fonction des rendements moyens des 5 dernières années du pois de printemps sur le territoire.

Annexe 6 : Tableaux des marges nettes des légumineuses à graines en fonction du prix de vente et du rendement

Pour approximer les rendements et prix de vente pour lesquels les légumineuses à graines sont « rentables » dans un système de culture donnée, la marge nette avec aides de la légumineuse est calculée en faisant varier ces paramètres, et comparée à la marge nette avec aides du système de culture sans légumineuse. Ici, l'insertion est considérée comme « rentable » lorsque la marge à la culture contribue à augmenter la marge à l'échelle du système de culture.

Les tableaux ci-dessous offrent un ordre d'idée des niveaux de prix et de rendements nécessaires pour que la légumineuse soit rentable dans un contexte donné. De plus, connaissant un rendement il permet de déterminer le prix d'opportunité de la culture et inversement.

Ces résultats de rentabilité sont simplifiés et doivent être vus comme pessimistes, car ces simulations ne prennent en compte ni les effets précédents ni les effets rotations des légumineuses. De plus, le changement de pratique est réduit aux seuls indicateurs économiques bien que d'autres facteurs, notamment agronomiques, orientent le choix des agriculteurs.

Ferme-type Champagne crayeuse

Ferme-type Champagne Crayeuse : Pois d'hiver, Marge nette du système de culture initial : 325 €/ha

Rendement (t/ha)											
Prix de vente (€/t)	2,8	3	3,2	3,4	3,6	3,8	4	4,2	4,4	4,6	4,8
170	-296	-262	-228	-194	-160	-126	-92	-58	-24	10	44
190	-240	-202	-164	-126	-88	-50	-12	26	64	102	140
210	-184	-142	-100	-58	-16	26	68	110	152	194	236
230	-128	-82	-36	10	56	102	148	194	240	286	332
250	-72	-22	28	78	128	178	228	278	328	378	428
270	-16	38	92	146	200	254	308	362	416	470	524
MN pois <<MN rotation											
MN pois = MN rotation											
MN pois >>MN rotation											

Tableau 11 : Marge nette avec aides à la culture du pois d'hiver dans la ferme-type Champagne Crayeuse en fonction de son prix de vente et de son rendement. Comparée à la marge nette à l'échelle de la rotation de la ferme-type sans légumineuse.

Ferme-type Barrois

Ferme-type Barrois : Pois de printemps, Marge nette du système de culture initial : 166 €/ha

Rendement (t/ha)											
Prix de vente (€/t)	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3	3,2	3,4	3,6	3,8	4
170	-259	-225	-191	-157	-123	-89	-55	-21	13	47	81
190	-219	-181	-143	-105	-67	-29	9	47	85	123	161
210	-179	-137	-95	-53	-11	31	73	115	157	199	241
230	-139	-93	-47	-1	45	91	137	183	229	275	321
250	-99	-49	1	51	101	151	201	251	301	351	401
270	-59	-5	49	103	157	211	265	319	373	427	481
MN pois <<MN rotation											
MN pois = MN rotation											
MN pois >>MN rotation											

Tableau 12 : Marge nette avec aides à la culture du pois de printemps dans la ferme-type Barrois en fonction de son prix de vente et de son rendement. Comparée à la marge nette à l'échelle de la rotation de la ferme-type sans légumineuse.

Ferme-type Champagne humide

Ferme-type Champagne humide : Pois de printemps, Marge nette du système initial : 317 €/ha

Rendement (t/ha)											
Prix de vente (€/t)	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3	3,2	3,4	3,6	3,8	4
170	-290	-256	-222	-188	-154	-120	-86	-52	-18	16	50
190	-250	-212	-174	-136	-98	-60	-22	16	54	92	130
210	-210	-168	-126	-84	-42	0	42	84	126	168	210
230	-170	-124	-78	-32	14	60	106	152	198	244	290
250	-130	-80	-30	20	70	120	170	220	270	320	370
270	-90	-36	18	72	126	180	234	288	342	396	450
MN pois <<MN rotation											
MN pois = MN rotation											
MN pois >>MN rotation											

Tableau 13: Marge nette avec aides à la culture du pois de printemps dans la ferme-type Champagne humide en fonction de son prix de vente et de son rendement. Comparée à la marge nette à l'échelle de la rotation de la ferme-type sans légumineuse.

Ferme-type Brie

Ferme-type Brie : Féverole de printemps, Marge nette du système de culture initial : 341 €/ha

Rendement (t/ha)											
Prix de vente (€/t)	2,8	3	3,2	3,4	3,6	3,8	4	4,2	4,4	4,6	4,8
190	-202	-164	-126	-88	-50	-12	26	64	102	140	178
210	-142	-100	-58	-16	26	68	110	152	194	236	278
230	-82	-36	10	56	102	148	194	240	286	332	378
250	-22	28	78	128	178	228	278	328	378	428	478
270	38	92	146	200	254	308	362	416	470	524	578
290	98	156	214	272	330	388	446	504	562	620	678
MN pois <<MN rotation											
MN pois = MN rotation											
MN pois >>MN rotation											

Tableau 14 : Marge nette avec aides à la culture de féverole de printemps dans la ferme-type Brie en fonction de son prix de vente et de son rendement. Comparée à la marge nette à l'échelle de la rotation de la ferme-type sans légumineuse.

Ferme-type Brie : Pois d'hiver Marge nette du système de culture initial : 341 €/ha

Rendement (t/ha)											
Prix de vente (€/t)	2,8	3	3,2	3,4	3,6	3,8	4	4,2	4,4	4,6	4,8
170	-205	-171	-137	-103	-69	-35	-1	33	67	101	135
190	-149	-111	-73	-35	3	41	79	117	155	193	231
210	-93	-51	-9	33	75	117	159	201	243	285	327
230	-37	9	55	101	147	193	239	285	331	377	423
250	19	69	119	169	219	269	319	369	419	469	519
270	75	129	183	237	291	345	399	453	507	561	615
MN pois <<MN rotation											
MN pois = MN rotation											
MN pois >>MN rotation											

Tableau 15 : Marge nette avec aides à la culture du pois d'hiver dans la ferme-type Brie en fonction de son prix de vente et de son rendement. Comparée à la marge nette à l'échelle de la rotation de la ferme-type sans légumineuse.

❶ Principes

- Le plagiat se définit comme l'action d'un individu qui présente comme sien ce qu'il a pris à autrui.
- Le plagiat de tout ou parties de documents existants constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée
- Le plagiat concerne entre autres : des phrases, une partie d'un document, des données, des tableaux, des graphiques, des images et illustrations.
- Le plagiat se situe plus particulièrement à deux niveaux : Ne pas citer la provenance du texte que l'on utilise, ce qui revient à le faire passer pour sien de manière passive. Recopier quasi intégralement un texte ou une partie de texte, sans véritable contribution personnelle, même si la source est citée.

❷ Consignes

- Il est rappelé que la rédaction fait partie du travail de création d'un rapport ou d'un mémoire, en conséquence lorsque l'auteur s'appuie sur un document existant, il ne doit pas recopier les parties l'intéressant mais il doit les synthétiser, les rédiger à sa façon dans son propre texte.
- Vous devez systématiquement et correctement citer les sources des textes, parties de textes, images et autres informations reprises sur d'autres documents, trouvés sur quelque support que ce soit, papier ou numérique en particulier sur internet.
- Vous êtes autorisés à reprendre d'un autre document de très courts passages in extenso, mais à la stricte condition de les faire figurer entièrement entre guillemets et bien sur d'en citer la source.

❸ **Sanction** : En cas de manquement à ces consignes, la DEVE/le correcteur se réservent le droit d'exiger la réécriture du document sans préjuger d'éventuelles sanctions disciplinaires.

❹ Engagement :

Je soussigné (e) : Laurine Brillault

Reconnaît avoir lu et m'engage à respecter les consignes de non plagiat

A : Orléans le : 07/09/2021

Signature :



Résumé

Le positionnement de l'Union Européenne et de la France en faveur d'un renforcement de l'autonomie protéique de leurs territoires, tout en répondant aux enjeux environnementaux, sont autant d'opportunités pour le développement des légumineuses à graines. Des initiatives à des échelles locales se mettent en place telle que le PEI PARTAGE qui vise notamment une meilleure intégration des légumineuses à graines dans les systèmes de cultures du Nord-Est. Une évaluation multicritère a été réalisée sur quatre fermes-types territorialisées afin d'étudier les impacts et les conditions de réussite de l'introduction de légumineuses à graines dans les systèmes de cultures locaux.

L'insertion de la légumineuse, ne semble pas dégrader la rentabilité économique globale des systèmes de cultures du Nord-Est simulés. Cependant, l'intérêt économique de cette introduction est dépendant du système de culture de référence et du potentiel économique de la légumineuse à graine introduite (rendement, prix de vente).

Les bénéfices environnementaux, obtenus à la suite de l'introduction de la légumineuse et de ses effets, sont multiples : réduction des émissions de GES liée à une moindre fertilisation azotée, diminution de la consommation d'énergie fossile, et réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires. Ils pourraient faire l'objet d'une valorisation économique à l'avenir (marché carbone). Par ailleurs, les légumineuses, riches en protéines végétales, contribuent à augmenter la production nutritionnelle des systèmes pour l'alimentation humaine et animale.

Le développement des légumineuses à graines dans les systèmes de cultures du Nord-Est seraient souhaitables sur le plan agro-environnemental, mais des freins persistent. Le choix de la légumineuse à graine à insérer en fonction du contexte agro-climatique et des débouchés existants, la stabilisation des rendements et des prix rémunérateurs seront des pistes à développer à l'avenir.

Mots clés : grandes cultures - légumineuses à graines – ferme-type – évaluation multicritère – Systemre®

Abstract

The positioning of the European Union and France in favor of strengthening the protein autonomy of their territories, while responding to environmental challenges, are opportunities for the development of grain legumes. Initiatives at local scales are emerging such as the PEI PARTAGE which specifically aims to better integrate grain legumes in the cropping systems of north-eastern France. A multicriteria evaluation was carried out on four territorialized typical farms in order to determine all the impacts and conditions needed for the introduction of grain legumes to succeed into local cropping systems.

Insertion of grain legumes does not seem to break down the overall economic profitability of the simulated north-eastern France cropping systems. However, the economic interest of this introduction depends on the reference cropping system and the economic potential of the grain legume (yield, sale price). The environmental benefits obtained following the introduction of the grain legumes and its effects are multiple: reduction in greenhouse gases linked to the drop of nitrogen fertilization needs, reduction in fossil energy consumption, and reduction in use of phytosanitary products. All environmental benefits could be characterized through an economic valuation in the future (carbon market). Furthermore, grain legumes, which contain high quantities of vegetable proteins, help to increase the nutritional production of food and feed systems.

The development of grain legumes in Northeastern cropping systems is desirable from an agro-environmental point of view, but obstacles remain. The successful choice of the inserted grain legume, the stabilization of yields and attractive prices for farmers will be ways forward in the future.

Key words : field crops - grain legumes – typical farm - multi-criteria assessment - Systerre®