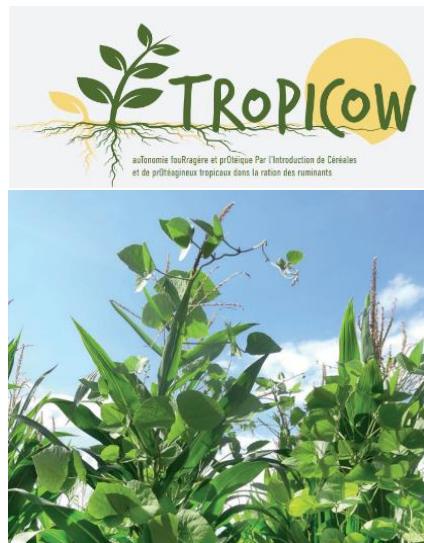


<p>Année universitaire : 2020 – 2021 Spécialité : Ingénieur Agronome Spécialisation : Sciences et Ingénierie du Végétal Option : Agrosystèmes : conception et évaluation</p>	<p><b>Mémoire de fin d'études</b>  <input checked="" type="checkbox"/> d'ingénieur de l'École nationale supérieure des sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage (AGROCAMPUS OUEST), école interne de l'institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement  <input type="checkbox"/> de master de l'École nationale supérieure des sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage (AGROCAMPUS OUEST), école interne de l'institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement  <input type="checkbox"/> d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)</p>
--	---

## Opportunités et intérêts de cultiver du maïs fourrage en association avec une légumineuse tropicale dans le Sud-Ouest de la France

Par : Elsa DAVID



*Soutenu à Rennes le 14/09/21*

*Devant le jury composé de :*

Présidente : Christine BISSUEL

Autres membres du jury : Nathalie MOUTIER

Maître de stage : Olivier GUERIN

Enseignant référent : Matthieu CAROF

*Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST*



## **ENGAGEMENT DE NON-PLAGIAT**

Je, soussignée, Elsa David, déclare être pleinement consciente que le plagiat de documents ou d'une partie d'un document publiés sur toutes formes de support, y compris l'internet, constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée. En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées pour écrire ce rapport ou mémoire.

Signature :

## Fiche de confidentialité et de diffusion du mémoire

### Confidentialité

Non  Oui      si oui :  1 an  5 ans  10 ans

Pendant toute la durée de confidentialité, aucune diffusion du mémoire n'est possible.

Date et signature du **maître de stage** :

(ou de l'étudiant-entrepreneur)

**A la fin de la période de confidentialité**, sa diffusion est soumise aux règles ci-dessous (droits d'auteur et autorisation de diffusion par l'enseignant à renseigner).

### Droits d'auteur

L'auteur **David Elsa** autorise la diffusion de son travail (immédiatement ou à la fin de la période de confidentialité)

Oui  Non

Si oui, il autorise

- la diffusion papier du mémoire uniquement(4)
- la diffusion papier du mémoire et la diffusion électronique du résumé
- la diffusion papier et électronique du mémoire (joindre dans ce cas la fiche de conformité du mémoire numérique et le contrat de diffusion)
- accepte de placer son mémoire sous licence Creative commons CC-By-Nc-Nd (voir Guide du mémoire Chap 1.4 page 6)

Date et signature de l'**auteur** : Le 25.09.21



### Autorisation de diffusion par le responsable de spécialisation ou son représentant

L'enseignant juge le mémoire de qualité suffisante pour être diffusé (immédiatement ou à la fin de la période de confidentialité)

Oui  Non

Si non, seul le titre du mémoire apparaîtra dans les bases de données.

Si oui, il autorise

- la diffusion papier du mémoire uniquement(4)
- la diffusion papier du mémoire et la diffusion électronique du résumé
- la diffusion papier et électronique du mémoire

Date et signature de l'**enseignant** :



## **Remerciements**

Je remercie mes encadrants Olivier GUERIN et Sébastien MINETTE pour la confiance qu'ils m'ont accordée durant ce stage de fin d'études. Leur précieuse expertise a permis d'enrichir mes connaissances techniques et agronomiques. Leur expérience et leur passion pour l'agriculture m'ont confortée dans mes choix professionnels.

Merci à mon enseignant référent, Matthieu CAROF, pour ses conseils dans la réalisation de ce mémoire et la qualité de son enseignement.

Un grand merci à l'ensemble des éleveurs, conseillers agricoles et chercheurs de l'INRAE avec qui j'ai eu le plaisir de travailler et d'échanger. Je remercie tout particulièrement les exploitants agricoles ayant accepté de m'accueillir malgré un contexte sanitaire compliqué.

Je remercie l'équipe des Verrines de Lusignan pour leur accueil chaleureux et leur aide précieuse lors de l'expérimentation en serre.

Enfin, un grand merci à l'équipe de Saint-Jean-d'Angély pour leur accueil et leur bienveillance au cours de ces 6 mois de stage.



## Table des matières

1. Introduction .....	1
2. Contexte.....	2
2.1. L'autonomie protéique en France.....	2
2.2. Présentation du projet Tropi'Cow .....	2
3. Bibliographie .....	3
3.1. Le lablab : une légumineuse d'origine tropicale .....	3
3.2. Performances agronomiques de l'association maïs/lablab .....	5
3.3. Effets sur la qualité du fourrage et les performances zootechniques des élevages.....	6
3.4. Raisonnement des facteurs techniques pour optimiser les performances de l'association.....	8
3.5. Problématique et objectifs du stage.....	10
4. Matériel et méthodes.....	11
4.1. Présentation de la démarche .....	11
4.2. Compilation et traitements des données .....	13
4.2.1. Mode d'analyse des données brutes .....	13
4.2.2. Evaluation économique de la mise en place de l'association.....	13
5. Résultats.....	14
5.1. Synthèse des enquêtes auprès des éleveurs .....	14
5.1.1. Présentation de l'échantillon d'enquête .....	14
5.1.2. Les itinéraires techniques mis en place par les éleveurs .....	14
5.1.2.1. Préparation du semis et implantation de la culture .....	14
5.1.2.2. Gestion du désherbage .....	16
5.1.2.3. Gestion de la fertilisation .....	16
5.1.3. Performances agronomiques et environnementales de l'association .....	16
5.1.4. Performances zootechniques de l'association.....	17
5.1.4.1. Valorisation du fourrage produit par les animaux.....	17
5.1.4.2. Impact sur les performances zootechniques.....	18
5.1.4.3. Impact sur la ration des ruminants .....	18
5.1.5. Analyse du volet social .....	18
5.2. Synthèse des expérimentations réalisées par les conseillers agricoles .....	18
5.2.1. Performances agronomiques de l'association .....	18
5.2.2. Analyse des valeurs alimentaires .....	19
5.3. Analyse économique .....	19
5.4. Synthèse des résultats de l'expérimentation en serre .....	20
5.5. Synthèse des résultats : clés de réussites/échecs de l'association maïs/lablab .....	21
6. Discussion.....	22
6.1. Discussion des résultats.....	22
6.2. Discussion de la méthode .....	23
6.3. Perspectives.....	23
7. Conclusion .....	24
Bibliographie .....	25



## **Liste des abréviations**

ADF : Acid Detergent Fiber

CRA : Chambre Régionale d'agriculture

CRANA : Chambre Régionale d'agriculture Nouvelle-Aquitaine

ITK : Itinéraire technique cultural

MAT : Matière azotée totale

MS : Matière sèche

N : Azote

NDF : Neutral Detergent Fiber

PDI : Protéines Digestibles dans l'Intestin d'origine alimentaire



## Liste des figures

<b>Figure 1</b> : Partenaires du projet Tropi'Cow .....	3
<b>Figure 2</b> : Réponse de la teneur en protéines brutes aux densités de semis du lablab et de maïs .....	9
<b>Figure 3</b> : Réponse du rendement total en fourrage à la densité de semis de maïs .....	9
<b>Figure 4</b> : Dispositif expérimental de l'expérimentation sous serre .....	13
<b>Figure 5</b> : Méthode de calcul de la marge semi-nette de l'association .....	13
<b>Figure 6</b> : Répartition géographique des exploitations enquêtées.....	14
<b>Figure 7</b> : Distribution des surfaces mises en association maïs/lablab par rapport à la surface en maïs pur (n = 41).....	14
<b>Figure 8</b> : Mode de semis du mélange maïs/lablab (n = 41).....	15
<b>Figure 9</b> : Gestion du désherbage du maïs/lablab dans l'échantillon d'enquête n = 41 .....	16
<b>Figure 10</b> : Observations de nodosités chez les éleveurs (n = 41) .....	17
<b>Figure 11</b> : Schéma des situations où l'intégration du maïs/lablab dans la ration a abouti à un changement de ration (n = 41) .....	18
<b>Figure 12</b> : Schéma bilan des impacts de l'association maïs/lablab sur la performance sociale de l'exploitation .....	18
<b>Figure 13</b> : Comparaison des rendements du maïs/lablab et maïs seul selon le mode de production dans les expérimentations.....	18
<b>Figure 14</b> : Comparaison de la MAT du maïs/lablab et maïs seul selon le mode de production dans les expérimentations .....	19
<b>Figure 15</b> : Comparaison de la quantité de MAT produites par unité de surface de maïs/lablab et maïs seul selon le mode de production dans les expérimentations .....	19
<b>Figure 16</b> : Comparaison des charges opérationnelles liées aux semences d'une culture de maïs/lablab et maïs selon le mode de production dans les expérimentations .....	19
<b>Figure 17</b> : Photographies du lablab non inoculé (Tablard 1) et inoculé (Tablard 2) le 12/07/21 à Lusignan.....	20
<b>Figure 18</b> : Biomasse aérienne sèche produite par pot de lablab (gramme MS/pot) en fonction du type de sol, des variétés et de la fertilisation. .....	20
<b>Figure 19</b> : Masses sèches des nodosités du lablab en fonction du type de sol, des variétés et de la fertilisation azotée minérale .....	21
<b>Figure 20</b> : Gains moyens de rendement de MS de lablab permis grâce à l'inoculation et la fertilisation sur la variété Opale selon le type de sol en 918 °j cumulés. Les effectifs de chaque barre sont indiqués par le N .....	21
<b>Figure 21</b> : Schéma bilan des informations récoltées lors du travail du traque à l'innovation et de l'expérimentation sur l'association maïs/lablab.....	22



## Liste des tableaux

<b>Tableau 1</b> : Liste non-exhaustive de cultivars de l'espèce <i>Lablab purpureus</i> .....	3
<b>Tableau 2</b> : Caractéristiques du milieu abiotique adapté à la culture de lablab et sensibilité de la plante au milieu biotique .....	4
<b>Tableau 3</b> : Synthèse des effets de l'association du lablab au maïs sur le rendement de MS dans différents contextes pédoclimatiques .....	5
<b>Tableau 4</b> : Synthèse des effets des dates de semis du lablab et du maïs sur les performances agronomiques du fourrage dans différents contextes pédoclimatiques .....	9
<b>Tableau 5</b> : Synthèse des connaissances bibliographiques sur l'association maïs/lablab par rapport à un maïs pur .....	10
<b>Tableau 6</b> : Synthèse des informations apportées par les différentes sources d'informations.....	11
<b>Tableau 7</b> : Grandes caractéristiques des deux types de sol étudiés dans l'expérimentation en serre d'après des analyses de sol réalisées sur les parcelles où la terre a été prélevée. ....	12
<b>Tableau 8</b> : Facteurs mesurés dans l'expérimentation en serre.....	13
<b>Tableau 9</b> : Liste des herbicides « maïs » sélectifs du lablab .....	16
<b>Tableau 10</b> : Présentation des difficultés rencontrées par les éleveurs enquêtés lors de la récolte ..	17
<b>Tableau 11</b> : Analyse chimique de la MAT des parties aériennes et racinaires du lablab.....	21
<b>Tableau 12</b> : Propositions de facteurs à expertiser lors des essais en bandes 2022 entre le semis et la récolte .....	23



## 1. Introduction

La production de fourrage d'été permet aux systèmes en polyculture-élevage de sécuriser la ration du bétail en constituant un stock pour l'année suivante. Cependant, les agrosystèmes sont de plus en plus soumis au déficit pluviométrique et aux fortes chaleurs qui compliquent la culture de fourrage durant l'été. Dans certaines zones du monde comme l'Afrique du Sud, le manque de fourrage pendant la saison sèche constitue un véritable défi pour les petits producteurs laitiers du pays qui disposent d'une surface réduite dédiée à la production de fourrage (Geren *et al.*, 2008).

Le maïs est une plante fourragère largement répandue dans le monde dans l'alimentation des animaux. En France, l'ensilage de maïs est à la base de l'alimentation dans une grande partie des élevages et représente environ 20% de la ration des troupeaux bovins lait et viande confondus (Brunschwig *et al.*, 2012). Les atouts de cette culture sont agronomiques (hauts potentiels de rendements), nutritionnels (forte teneur en énergie et en fibres) et elle présente des facilités de récolte et de conservation. Néanmoins, avec une teneur en Matière Azotée Totale (MAT) de seulement 7 %, la ration produite avec ces fourrages présente un déficit en protéines ne permettant pas de couvrir la totalité des besoins en azote des bovins (Armstrong et Albrecht, 2008a).

Pour répondre aux besoins azotés des animaux, les éleveurs complémentent la ration avec des aliments « concentrés en protéines ». En 2012, l'autonomie protéique globale des élevages laitiers et allaitants français était estimée à 77 % (Brunschwig *et al.*, 2012). Les 23 % de protéines végétales restant proviennent principalement de tourteaux de soja OGM importés en majorité d'Amérique du Sud. En 2015, la filière bovins lait était la plus dépendante aux tourteaux de soja avec près de 1.4 million de tonnes importé, dépassant les filières volailles de chair et bovins viande (Laurent, 2021).

Face à cette dépendance aux sources extérieures d'azote et aux fluctuations des cours des marchés agricoles mondiaux, la sécurisation de l'alimentation par la recherche d'autonomie protéique constitue une préoccupation majeure pour les filières bovines. Un des leviers pour améliorer l'autonomie protéique des élevages est d'augmenter la qualité des fourrages cultivés en associant les fourrages classiques à des légumineuses. La diversification des ressources fourragères d'été est une innovation récente en France mais testée depuis plusieurs années sous les climats tropicaux. Les principaux intérêts d'associer un fourrage d'été à une légumineuse sont (i) une forte production de biomasse, (ii) un contrôle des adventices par une couverture rapide du sol, (iii) des apports d'azote par la décomposition de la légumineuse, (iv) une restructuration du sol et une réduction des risques de maladies et d'attaques de ravageurs grâce à des sensibilités différentes des plantes (Olivier *et al.*, 2010).

Depuis le début des années 2000, une association à base de maïs (*Zea mays* L.) est mise en place avec une légumineuse d'origine tropicale nommée lablab (*Lablab purpureus*). Cette plante est essentiellement répandue dans les zones subtropicales d'Afrique de l'Ouest, Asie du sud, Chine, Japon, Inde, Caraïbes, Australie et Amérique du sud et centrale. Dans ces régions du monde, elle est couramment utilisée dans l'alimentation humaine, comme couvert ou utilisée dans la ration des ruminants pour intégrer des protéines supplémentaires sous forme de fourrage récolté (foin ou ensilage) ou pâtré en mélange ou en pur (Valenzuela et Smith, 2002). Cette légumineuse présente un bon potentiel d'association avec le maïs du fait de sa forte teneur en protéine et sa tolérance à la sécheresse (Sheahan, 2012). Associer des légumineuses aux fourrages d'été permet de combiner la production de ressources énergétiques et protéiques sur une même surface en renforçant l'équilibre énergie/azote par rapport à un maïs pur.

Le lablab a été introduit en France en 2018 par le semencier Semental. À ce jour, la légumineuse est majoritairement testée en association ou en pâturage. Cependant, les tests menés depuis 3 ans montrent que l'espèce tropicale ne forme pas de nodosités dans les sols de France métropolitaine. Cela peut s'expliquer par l'absence de populations bactériennes spécifiques à cette légumineuse, à leur non-efficience ou à leur faible abondance. Inoculer les semences avec des souches de *rhizobia* adaptées est donc nécessaire afin de rendre la légumineuse autotrophe à l'azote.



## 2. Contexte

### 2.1. L'autonomie protéique en France

L'autonomie protéique de la ration est définie comme le rapport entre les besoins en protéines couverts par les fourrages, les concentrés produits sur l'exploitation et les besoins totaux en protéines des animaux. La valeur protéique des aliments s'exprime en kg MAT (Matière Azotée Totale). Le niveau d'autonomie des exploitations varie fortement selon le système d'élevage, la composition du système fourrager en place et selon les besoins en azote des animaux (Brunschwig et al., 2012).

L'autonomie protéique est un véritable défi pour les élevages bovins français. En effet, si l'autonomie fourragère est élevée avec une moyenne de 98% en élevage bovin, l'autonomie protéique en concentrés ne s'élève qu'à 20% (Brunschwig et al., 2012). Chaque année, la France importe entre 3.5 et 4 millions de tonnes de graines et tourteaux de soja. Le Brésil est le principal fournisseur de soja du marché français avec près de 60 % des volumes importés. La majorité du soja importée depuis le Brésil, les Etats-Unis et le Canada est transformée ensuite en tourteaux en France (Stanghellini, 2019). La filière lait et viande bovine consomme 37 % des matières premières concentrées importées, devant les filières volailles (34%) et porcs (23%) (Laurent, 2021).

La volatilité des cours des matières riches en protéines est un frein au développement de l'efficience économique des exploitations françaises. Les coûts des concentrés à base de soja sont élevés (moyenne de 350 €/t en système conventionnel en 2020) et peuvent constituer un frein à leur utilisation notamment en système biologique où le prix des aliments atteint 1000 €/t (moyenne en 2020). À cela s'ajoutent les attentes sociétales exigeant une alimentation des animaux d'élevage sans OGM. En effet, près de 85 % du soja importé en France est OGM (Stanghellini, 2019). Ainsi, les éleveurs doivent raisonner leur système pour trouver des alternatives à ces concentrés en relocalisant la production de protéines sur leur exploitation. Cette relocalisation implique d'une part d'améliorer la qualité des cultures fourragères en augmentant la MAT afin d'améliorer l'équilibre énergie/azote du fourrage et ainsi maintenir de bons niveaux de production. D'autre part, elle implique de réintroduire des légumineuses riches en protéines dans les rotations.

Depuis fin 2020 et dans le cadre du plan de relance, la France s'est engagée dans le plan protéines végétales. Ce plan définit une nouvelle stratégie nationale visant à réduire la dépendance de la France aux importations de protéines végétales d'ici 2030 grâce à un budget de 100 millions d'euros. L'objectif principal est de doubler les surfaces en plantes riches en protéines d'ici 2030, permettant ainsi à la France de devenir autonome en protéines végétales. Cette nouvelle stratégie permettrait ainsi d'atteindre la souveraineté "protéines végétales" à destination de l'alimentation humaine et animale en développant les filières de production de protéines et en soutenant les actions de recherche et d'innovation (Ministère de l'Economie des Finances et de la Relance, 2021).

Le projet Tropi'Cow se situe en prolongation du programme de recherche et d'expérimentations SOS Protein visant à améliorer l'autonomie protéique des filières animales et végétales en Bretagne et en Pays de la Loire (Chambres d'agriculture de Bretagne, 2020). Il contribuera également au développement des plans protéiques régionaux en Nouvelle-Aquitaine et Pays de la Loire.

### 2.2. Présentation du projet Tropi'Cow

Ce mémoire s'inscrit dans un projet lauréat à l'appel à projet CASDAR innovations et partenariats nommé Tropi'Cow (auTonomie fouRragère et prOtéique Par l'Introduction de Céréales et de prOtéagineux tropicaux dans la ration des ruminants) se déroulant de janvier 2021 à juin 2024.

Figure 1 : Partenaires du projet Tropi'Cow

3 régions du Sud-Ouest de la France : Occitanie, Pays de Loire, Nouvelle-Aquitaine

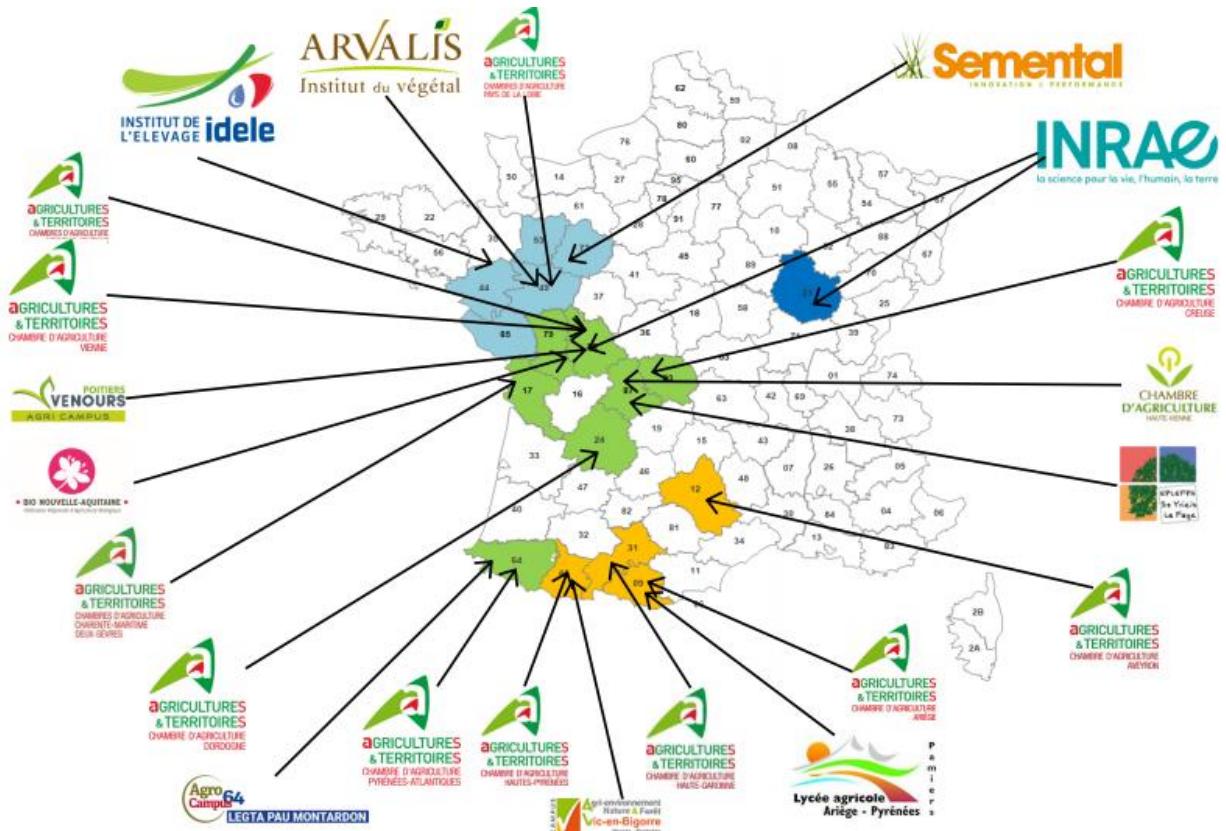


Tableau 1 : Liste non-exhaustive de cultivars de l'espèce *Lablab purpureus* (Amodu et al., 2004 ; Mullen, 2017 ; Sheahan, 2012).

Variété	Cycle	Principale utilisation	Pays sélectionneur	Floraison	Description
Rongaï	Annuelle	Fourrage	Australie	Variété à floraison tardive de jours courts	Dans le sud de l'Australie et aux Etats-Unis, Rongaï est détruit par les gelées avant qu'il ne puisse fleurir.
Highworth	Annuelle	Fourrage et production de graines	Australie	Variété plus précoce produisant des fleurs 3 à 6 semaines plus tôt que Rongaï	
Rio Verde	Annuelle	Production de graines	Etats-Unis	Variété plus précoce que Rongaï	
Koala	Annuelle	Production de graines	Australie	Variété à maturation rapide	Production de MS 30% plus faible que celle de Rongaï et Highworth
Endurance	Pérenne (2 à 4 ans)	Fourrage	Australie	Variété à floraison tardive	

Ce projet est porté par la Chambre Régionale d’Agriculture (CRA) Nouvelle-Aquitaine (NA) et associe 27 partenaires incluant des organismes de développement (Chambres d’Agriculture, Fédération Régionale de l’AB Nouvelle-Aquitaine), les instituts techniques Arvalis et Idele, l’INRAE de Dijon et Lusignan, la coopérative OCEALIA et le semencier Semental.

Le périmètre géographique du projet s’étend sur 3 régions du Sud-Ouest de la France (**Figure 1**) et vise à produire des références pour la production d’associations de légumineuses tropicales lablab/cowpea et de plantes fourragères maïs/sorgho utilisées dans l’alimentation des ruminants pour les filières lait et viande (Minette, 2020).

Les objectifs du projet Tropi’Cow sont multiples : (i) produire un ou des *inocula* à base de *rhizobia* en mesure d’assurer une fixation symbiotique du diazote par les deux espèces tropicales candidates, cowpea et lablab, (ii) évaluer en serre et au champ les performances des *inocula* produits, (iii) étudier les performances agronomiques des associations dans différents contextes pédoclimatiques, (iv) identifier les idéotypes de maïs et sorgho les plus adaptés à ce type d’association, (v) caractériser les spécificités de récolte, de conservation et les valeurs nutritives de ces fourrages et enfin (vi) mesurer l’incidence économique, environnementale et sociale de l’adoption de ces fourrages mixtes sur le fonctionnement de plusieurs types d’exploitations d’élevage.

Le projet se décompose en 5 actions principales :

- 1) Définition des thématiques à expertiser au champ et repérage des innovations produites par les éleveurs
- 2) Production de références agronomiques (réseau d’expérimentations analytiques et en bandes)
- 3) Caractérisation des fourrages produits et effet de leur intégration sur les systèmes de production
- 4) Capitalisation et diffusion des connaissances
- 5) Coordination du projet

### 3. Bibliographie

#### 3.1. Le lablab : une légumineuse d’origine tropicale

##### ➤ Origine des espèces

Le lablab (*Dolichos purpureus*) est une légumineuse estivale, grimpante en présence d’un tuteur. Il peut atteindre entre 1 et 6 m de longueur mais en l’absence de tuteur, il forme un couvert d’environ 40 cm de hauteur. Cette fabacée porte de nombreux noms à travers les continents, en France elle est nommée « Dolique d’Egypte » et aux Etats-Unis « Hyacinth bean ».

Il existe des incertitudes sur l’endémicité du lablab qui diffère selon les scientifiques. En effet, deux centres d’origine indépendants sont admis par les botanistes : l’Afrique tropicale (centre abyssin éthiopien) et l’Asie tropicale (Inde), où des formes sauvages ont été observées. L’espèce aurait ensuite été introduite par des navigateurs, esclaves ou courants marins en Chine, à Madagascar, la Réunion, dans les îles du Pacifique, en Amérique (Rivals, 1953). Depuis une vingtaine d’années, la culture de lablab se développe dans les zones non tropicales.

##### ➤ Variétés

L’espèce *Lablab purpureus* se divise en 3 sous-espèces : (i) *Lablab purpureus* subsp. *bengalensis*, (ii) *Lablab purpureus* subsp. *purpureus*, (iii) *Lablab purpureus* subsp. *uncinatus*. Une cinquantaine de variétés cultivées seraient connues dans le monde par les botanistes. Les différentes variétés se distinguent grâce aux variations de teintes de fleurs et de graines, aux caractéristiques des gousses et à la disposition des fleurs dans l’inflorescence (Rivals, 1953). Il existe des variétés annuelles estivales et des variétés pérennes (**Tableau 1**).

**Tableau 2 : Caractéristiques du milieu abiotique adapté à la culture de lablab et sensibilité de la plante au milieu biotique**

	Milieu abiotique				Milieu abiotique
	Types de sol	pH	Températures	Pluviométrie	
Conditions de développement	Adapté à une grande variété de types de sol (argiles aux sables)	pH entre 4.5 et 7.5	Températures journalières entre 17-30°C	Précipitations annuelles entre 650 et 2500 mm	
Informations complémentaires	Intolérant aux sols mal drainés et régulièrement immersés. Comme beaucoup de légumineuses, les sols doivent être bien pourvus en phosphore et en nutriments (fer, sulfate, molybdène) pour optimiser la fixation de l'azote.	Tolérant aux sols acides contrairement à la majorité des légumineuses.	Tolère de faibles températures jusqu'à 3°C sur une courte période et un gel léger passager. Il présente un zéro de végétation de 12°C, alors que celui du maïs est de 6°C.	Résistant à la sécheresse.	Globalement peu sensible aux maladies racinaires mais présente des risques de taupins à l'implantation. Sensible aux <i>Xanthomonas</i> et <i>Fusarium</i> en saison de pluies et peut présenter des attaques de foreurs de gousse de haricot et nématodes
Références	(Cook <i>et al.</i> , 2005 ; Mullen, 2017 ; Valenzuela et Smith, 2002)	(Cook <i>et al.</i> , 2005 ; Valenzuela et Smith, 2002)	(Cook <i>et al.</i> , 2005 ; Semental, 2020 ; Sheahan, 2012)	(Cook <i>et al.</i> , 2005)	(Cook <i>et al.</i> , 2005 ; Rivals, 1953 ; Valenzuela et Smith, 2002)

Le premier cultivar amélioré a été créé en 1962 en Australie sous le nom de Rongaï. Cette variété a ensuite été importée aux Etats-Unis initialement pour produire des fourrages pour les cerfs. En 2006, un organisme de recherche du Texas développe « Rio Verde », la première variété américaine, plus précoce et utilisée pour la production de graines (J Houck, 2013). Les deux principales variétés fourragères utilisées notamment aux Etats-Unis et en Australie sont Rongaï et Highworth. En France, les variétés commercialisées sont Rongaï, Opale, Sustain et Highworth.

### ➤ Inoculation

Dans plusieurs zones du monde comme en Australie, aux Etats-Unis et en Europe, il est nécessaire d'inoculer les semences avec un *inoculum* de *rhizobia* adapté au sol pour assurer la fixation symbiotique de l'azote. En théorie, il n'est pas nécessaire de re-inoculer les années suivant la première inoculation puisque les bactéries restent dans le sol (Valenzuela et Smith, 2002). Les Australiens utilisent un *inoculum* spécifique au lablab (souche CB1024). La production de nodosités des légumineuses dépend principalement de 4 facteurs : (i) l'efficacité de l'inoculation, (ii) l'humidité du sol, (iii) la température du sol, (iv) la disponibilité en nutriments et l'acidité du sol mais également de la teneur initiale en azote (Mullen, 2017).

### ➤ Milieu biotique et abiotique

Le lablab se cultive dans une diversité de types de sol mais est exigeant en termes de températures journalières. Ses conditions de développement sont présentées dans le **tableau 2**. En somme, le succès du lablab sous les climats tropicaux s'explique en partie par sa tolérance à la sécheresse et au stress thermique, et sa transpiration relativement faible lors de fortes chaleurs qui lui permet de rester « vert » durant la saison sèche (Rivals, 1953).

### ➤ Production de fourrages

Le rendement en matière sèche (MS) du lablab dépend fortement des conditions environnementales et du niveau d'humidité du sol (Hassan *et al.*, 2014). En Australie, en conditions sèches, le lablab produit entre 500 kg et 5 T.MS/ha et peut atteindre 14 T.MS/ha en situation irriguée (Mullen, 2017). De plus, une étude comparant des variétés de deux légumineuses tropicales aux Etats-Unis a montré que le lablab avait un meilleur potentiel que le cowpea en termes de production de fourrage pour compléter la ration des vaches laitières et de viande (Contreras-Govea *et al.*, 2011).

Une tonne de MS produirait 22 kg d'azote par hectare sous climat tropical grâce à la fixation symbiotique et à la restitution de l'azote par la dégradation des feuilles (Valenzuela et Smith, 2002). Le lablab est riche en protéines brutes avec des MAT comprises entre 20 et 38% pour les feuilles et 20 et 28% pour les graines. Ces teneurs varient selon les parties de la plante, les conditions locales et le stade de récolte (Cook *et al.*, 2005).

### ➤ Autres propriétés du lablab

#### Contrôle des adventices par la couverture du sol :

Au début de son cycle, le lablab croît lentement mais une fois bien implanté sa croissance s'accélère et il devient compétitif avec les adventices estivales (Sheahan, 2012). Des cultures de lablab menées sur terres d'alluvions en France ont montré que le couvert de lablab étouffait les adventices à végétation estivale (Rivals, 1953). Malgré les conditions séchantes, le développement du lablab permet de couvrir le sol rapidement, ce qui limite les phénomènes d'érosion et étouffe les adventices (Valenzuela and Smith, 2002). Lorsqu'il grimpe à un tuteur, les feuilles les plus basses de la plante créent de l'ombre qui permettrait de limiter les phénomènes d'évaporation de l'eau du sol (Cook *et al.*, 2005).

Tableau 3 : Synthèse des effets de l'association du lablab au maïs sur le rendement en MS dans différents contextes pédoclimatiques

Localisation	Type de climat	Caractéristiques du sol	Informations sur le rendement	Références
Wisconsin (Etats-Unis) 4 études =	Continental	Limons bien drainés pH : 7.5 Pluviométrie annuelle : 900 mm	Pas de modification du rendement en MS du fourrage mais le rendement en maïs a tendance à diminuer. Cela s'explique par la diminution du nombre de pieds au semis et à la possible compétition entre la légumineuse et le maïs. Ajouter du lablab n'aurait donc pas d'avantage dans les parcelles à haut potentiels de maïs.	(Armstrong et Albrecht, 2008 ; Armstrong <i>et al.</i> , 2008)
Ghana =	Tropical	Ochrosol Pluviométrie annuelle : 600 - 1000 mm	Pas de modification du rendement en maïs ni de la hauteur et du taux de croissance du maïs.	(Birteeb <i>et al.</i> , 2011)
Afrique du Sud →	Subtropical	Ferralsols, drainé, profond pH : 3.6 à 3.8 Pluviométrie estivale : 712 – 805 mm Température moyenne : 17.1 °C.	Gains de rendement en MS sur 4 ans de 30 à 40% par rapport à un maïs pur.	(Mthembu <i>et al.</i> , 2018)
Ethiopie →	Subtropical	Argilo-sableux pH : 5.6 Pluviométrie estivale : 936–1564 mm	Gains de rendement en MS entre 10 et 20% par rapport à un maïs pur.	(Hassen et Rethman, 2006) (Mpairwe <i>et al.</i> , 2002)
Ethiopie →	Subtropical	Vertisol et alfisol Pluviométrie annuelle : 865 mm Tmin = 10.6°C Tmax = 25°C	Gains de rendement en MS atteignant jusqu'à 50 % par rapport au maïs pur.	Mpairwe <i>et al.</i> , 2002)

## Propriétés physiques du sol :

Le lablab constitue un bon précédent grâce à son système racinaire profond qui améliore les propriétés physiques du sol (Rivals, 1953). Sa puissante racine pivot peut atteindre jusqu'à 2m de profondeur et développe de nombreuses racines latérales qui améliorent les conditions physiques et le fonctionnement du sol, et facilite l'infiltration de l'eau (Valenzuela et Smith, 2002 ; Sheahan, 2012). Son important réseau racinaire lui permet d'assurer une croissance pendant les périodes de sécheresse (Cook *et al.*, 2005).

## Fertilité des sols :

Lorsqu'il produit des nodosités, le lablab contribue à améliorer le statut azoté des sols dans lesquels il est implanté. Sous forme de couvert, la formation d'un tapis de feuilles mortes sur le sol permet un enrichissement en matière organique du sol (Rivals, 1953). En Californie, une culture de lablab de 75 jours a fixé entre 75 et 160 kg d'azote/ha (Valenzuela et Smith, 2002). En Australie, il est estimé que le lablab peut fixer entre 20 et 140 kg d'azote/ha dans le sol (Mullen, 2017).

### 3.2. Performances agronomiques de l'association maïs/lablab

#### ➤ **Rendements en fourrage**

Plusieurs essais ont été menés à travers le monde sous différents climats afin d'étudier la productivité du fourrage maïs/lablab (**Tableau 3**). Si des gains de rendements de MS sont observés en climat subtropical, les études en climat continental n'affichent pas d'effet sur le rendement de l'association malgré l'utilisation d'un *inoculum* spécifique au lablab.

Dans les zones tropicales, les rendements en lablab compensent la réduction de rendement en maïs due à la diminution de densité de semis. Les reliquats azotés laissés par la légumineuse dans le sol au fil des années apportent un gain supplémentaire pour la fertilité des sols favorables à la production de biomasse (Hassen et Rethman, 2006).

Les valeurs de l'indicateur LER (Land Equivalent Ratio) calculées en Afrique du Sud, variant de 1.39 à 1.59, témoigne de l'efficacité de cette association en termes de productivité du fourrage et d'efficacité d'utilisation des terres sous le climat tropical, là où les surfaces de terres arables disponibles sont faibles (Mthembu *et al.*, 2018).

#### ➤ **Rendements en grains du maïs**

Le maïs ensilage est conduit pour le fourrage plante entière, il est néanmoins important que le maïs produise du grain pour enrichir en amidon le fourrage. Les effets de l'association maïs/lablab sur la quantité de grains de maïs dans le fourrage sont variables. Au Nigéria et en Ethiopie, plusieurs études mettent en évidence des pertes de rendements en grain entre 20 et 40% (Amole *et al.*, 2013 ; Mpairwe *et al.*, 2002 ; Hassan *et al.*, 2014 ; Hassen et Rethman, 2006 ; Mthembu *et al.*, 2018).

D'une part, cela peut s'expliquer par des différences dans les composantes du rendement en grains de maïs : longueur de l'épi, circonférence de l'épi, nombre d'épi par plante et poids de l'épi. D'autre part, cela peut être dû à la concurrence exercée par le lablab sur le maïs (Hassan *et al.*, 2014 ; Hassen et Rethman, 2006).

Il a été montré que le nombre d'épis par plante ne variait pas mais que les épis de maïs étaient légèrement plus courts par rapport au maïs pur (Amole *et al.*, 2013). Cette perte de grains est moins importante quand l'association est semé en rang et non à la volée (Mpairwe *et al.*, 2002). De plus, ces pertes de rendements en grains pourraient également s'expliquer par un semis trop précoce du lablab après le semis du maïs, entraînant ainsi un enchevêtrement des deux plantes et une concurrence à la fois pour la lumière et les ressources du sol (Hassen et Rethman, 2006).



D'autres études en climat tropical montrent que l'introduction du lablab n'a pas d'influence significative sur le PMG du maïs car il émerge trop tardivement pour gêner la formation des grains (Birteeb *et al.*, 2011). Mais l'effet sur le rendement en grain n'est pas systématique. En effet, des expérimentations au Ghana et en Afrique du Sud n'ont pas observé d'effet significatif sur la production de grains de maïs (Birteeb *et al.*, 2011 ; Mthembu *et al.*, 2018).

### 3.3. Effets sur la qualité du fourrage et les performances zootechniques des élevages

La composition chimique (MAT, MS, amidon...) d'un fourrage est mesurée soit par analyse chimique, soit par analyse infra-rouge. A partir des paramètres mesurés, des équations de prévision établies pour le fourrage permettent de calculer des indicateurs de la valeur alimentaire (Winslow, 2013).

#### ➤ Matières azotées totales (MAT)

La MAT est un indicateur de la composition protéique d'un fourrage et correspond à la teneur en azote. Cependant, elle ne donne pas d'information sur la composition des protéines, leur digestibilité et dégradabilité dans le rumen. Les valeurs alimentaires calculées PDI (Protéines Digestibles dans l'Intestin d'origine alimentaire) permettent de caractériser la MAT et reflètent la valeur azotée en termes d'acides aminés absorbés par l'intestin (Winslow, 2013).

Quel que soit le climat, les études compulsées montrent le potentiel nutritif du fourrage maïs/lablab avec un enrichissement en protéines brutes de 10 à 65% (soit des MAT comprises entre 6.9 et 12.8%) par rapport à un maïs pur de MAT comprise entre 6 et 7 % en moyenne.

L'augmentation de la MAT s'accompagne également d'une diminution du taux de MS d'environ 10-15 % (Contreras-Govea *et al.*, 2009b ; Titterton et Maasdorp, 1997).

En comparant les valeurs alimentaires de trois haricots grimpants (lablab, haricot Velvet, haricot d'Espagne), des chercheurs ont montré que le lablab permettait d'obtenir le gain de MAT le plus important en association avec le maïs. Il présenterait donc le plus haut potentiel d'association avec le maïs pour augmenter la MAT sans impacter le rendement en MS du fourrage (Armstrong *et al.*, 2008 ; Contreras-Govea *et al.*, 2009a). En Afrique du Sud, il a été mis en évidence que l'amélioration de la valeur nutritive est liée aux teneurs plus élevées en protéines brutes de la légumineuse mais également à l'augmentation de la MAT dans les feuilles et des tiges de maïs (Mthembu *et al.*, 2018). Comprises entre 7 et 13 %, les valeurs de MAT du fourrage sont variables selon les publications (Armstrong *et al.*, 2008 ; Qu *et al.*, 2013 ; Titterton et Maasdorp, 1997) et dépendent des pratiques culturelles (**Partie 3.4**).

#### ➤ Éléments minéraux

En climat tropical, les gains de MAT s'accompagnent dans certaines situations d'un enrichissement en calcium du fourrage (Amole *et al.*, 2013 ; Qu *et al.*, 2013). Des changements de teneurs en calcium sont également signalés en France avec un doublement des valeurs par rapport aux concentrations d'un ensilage de maïs (Semental, 2020). L'association peut présenter un enrichissement en minéraux tel que le magnésium, potassium, phosphore (Amole *et al.*, 2013).

#### ➤ Fibres (NDF, ADF)

L'ensilage de maïs est utilisé dans les élevages bovins pour sa haute valeur énergétique. Cette énergie est fournie par deux sources principales : l'amidon des grains (énergie assimilable à 100%) et les fibres des feuilles et tiges (énergie assimilable à 40-80%) (Dekalb, 2017). Plusieurs indicateurs sont utilisés dans les analyses pour décrire le contenu en fibres des aliments.



Le NDF (Neutral Detergent Fiber) correspond au contenu total en fibres du fourrage comprenant la cellulose, l'hémicellulose, la lignine et les protéines liées à la fibre. Plus sa valeur est grande, plus le fourrage est fibreux et donc moins l'aliment sera valorisé par les animaux. L'ADF (Acid Detergent Fiber) est relié à la digestibilité des fourrages et correspond au contenu en fibres lentement dégradées par le rumen. Il est composé de cellulose, de lignine et de protéines. Plus l'ADF est élevé, moins le fourrage est digestible et énergétique (Winslow, 2013).

Plusieurs études en climat tropical et continental montrent une augmentation du contenu en fibres NDF et ADF de 5 et 35 % avec le maïs/lablab (Amole *et al.*, 2013 ; Contreras-Govea *et al.*, 2009a ; Contreras-Govea *et al.*, 2009b ; Hassan *et al.*, 2014 ; Titterton et Maasdorp, 1997). Une étude sud-africaine montre que l'association n'a pas d'effet significatif sur la teneur en fibres des tiges et feuilles de maïs (Mthembu *et al.*, 2008). Ces différences pourraient donc être dues aux fortes valeurs de NDF du lablab, supérieures à celle du maïs pur (Armstrong *et al.*, 2008). Ceci est cohérent puisque les légumineuses contiennent plus de cellulose et lignine dans les tiges et les feuilles que les graminées (Contreras-Govea *et al.*, 2009a).

Ces effets sur la teneur en fibres sont variables car trois études d'Afrique du Sud, Chine et Ethiopie ont montré, à l'inverse, une diminution des fibres NDF et ADF de 5 à 25% dans l'association par rapport à un maïs pur (Mpairwe *et al.*, 2002 ; Mthembu *et al.*, 2018 ; Qu *et al.*, 2013). Ces différents effets peuvent s'expliquer par une variabilité du stade de récolte du lablab entre les références.

### ➤ Digestibilité

Un ensilage de bonne qualité repose sur un bon équilibre entre digestibilité de l'amidon et des fibres assurant plus d'énergie pour les animaux, une meilleure productivité et une bonne santé du troupeau (Dekalb, 2017). Il présente donc des concentrations faibles de NDF et ADF et une haute digestibilité (Contreras-Govea *et al.*, 2009b). L'IVTDMD (in vitro true dry matter digestibility) correspond à la digestibilité de la MS. Le dNDF équivaut à la digestibilité de la fibre totale NDF. Une valeur élevée de dNDF correspond à une digestion rapide de la fibre, le taux de passage des aliments dans le rumen se fait plus rapidement ce qui permet à l'animal d'augmenter sa consommation de MS. Cette digestibilité des fibres est habituellement plus élevée pour les graminées que les légumineuses (Winslow, 2013).

Trois études américaines montrent que l'association n'a pas d'effet sur la valeur du dNDF *i.e.* la digestibilité de la fibre totale. Néanmoins, ces études mettent en évidence que la concentration en lablab dans le mélange est négativement corrélée à l'IVTDMD (Armstrong *et al.*, 2008 ; Contreras-Govea *et al.*, 2009a ; Contreras-Govea *et al.*, 2009b). De plus, l'augmentation des teneurs en fibres d'un fourrage due à l'augmentation des concentrations de lablab diminue l'IVTDMD (Armstrong et Albrecht, 2008). En effet, les teneurs en NDF et ADF sont négativement corrélés à la digestibilité (Contreras-Govea *et al.*, 2009a ; Contreras-Govea *et al.*, 2009b). Ceci confirme des résultats obtenus avec différentes légumineuses associées au maïs (Titterton et Maasdorp, 1997).

Le fourrage maïs/lablab a tendance à augmenter la teneur en fibres du fourrage et donc à diminuer légèrement la digestibilité de la MS. Cette diminution est faible (autour de 5%) et ne représente pas un risque important pour la productivité des animaux (Armstrong *et al.*, 2008 ; Contreras-Govea *et al.*, 2009a). Dans les deux cas où le lablab a diminué les teneurs en fibres, la digestibilité de l'ensilage a été améliorée par rapport à un maïs pur (Mpairwe *et al.*, 2002 ; Mthembu *et al.*, 2018).

### ➤ Les caractéristiques de la fermentation

Des études aux Etats-Unis, au Zimbabwe et en Chine montrent qu'associer du lablab au maïs dégrade la qualité de la fermentation anaérobique de l'ensilage (caractéristiques et produits de fermentation) en comparaison d'un maïs pur.



Les chercheurs américains ont montré que l'association augmenterait de 10 à 40 % les concentrations en lactate et acétate et de 25% la formation d'ammoniac du fourrage (Contreras-Govea *et al.*, 2009a ; Contreras-Govea *et al.*, 2009b ; Qu *et al.*, 2013 ; Titterton et Maasdorp, 1997).

Le contenu en fibres plus élevé du fourrage entraînerait également une diminution plus lente du pH dans le silo par rapport à un ensilage pur mais les variations de pH observées restent dans la fourchette considérée comme acceptable (Contreras-Govea *et al.*, 2009b ; Titterton et Maasdorp, 1997). Ceci est en lien avec la plus grande capacité tampon des légumineuses par rapport aux graminées. Le pH chute moins vite lors de la fermentation et de plus grandes quantités d'ammoniac et d'acide lactique sont formées, ce qui allonge la fermentation (Contreras-Govea *et al.*, 2009b).

Quelles que soient les densités de semis, le fourrage produit fermente bien et n'est pas susceptible d'influencer les performances animales. Ces dernières seront plus impactées par l'enrichissement en fibres et la baisse de digestibilité du fourrage (Contreras-Govea *et al.*, 2009a ; Qu *et al.*, 2013).

#### ➤ **Effet sur les animaux**

La productivité des ruminants est directement liée à leur alimentation. Lors de la distribution du fourrage maïs/lablab, les animaux peuvent avoir des hésitations du fait de l'odeur dégagé par le système glandulaire des tiges du lablab. Ceci peut expliquer une ingestion moins importante du fourrage par rapport à un maïs pur (Amole *et al.*, 2013 ; Rivals, 1953). Par ailleurs, la feuille du lablab est plus appétante que les graines et la tige très ligneuse (Valenzuela et Smith, 2002).

Peu d'études se sont intéressées aux effets de l'association sur la productivité des animaux. Des chercheurs américains ont montré, grâce à un modèle intégrant le rendement et les caractéristiques des fibres du fourrage, que l'intégration du maïs/lablab dans la ration de vaches laitières ne modifiait pas de manière significative la production de lait à l'hectare par rapport à un maïs pur. Celle-ci est surtout influencée par la densité de maïs. L'intégration de la MAT dans le modèle montre que la valeur alimentaire du fourrage en \$/tonne était plus élevée de 4% pour l'association que le maïs pur (Armstrong et Albrecht, 2008 ; Armstrong *et al.*, 2008).

Une étude chinoise montre que sur 60 jours, des vaches laitières rationnées au maïs/lablab produisent en moyenne 3 kg de lait/jour de plus que des vaches rationnées au maïs pur, pour une production journalière moyenne de 21.5 kg de lait. Seule cette étude démontre des taux protéiques du lait significativement plus élevés avec le maïs/lablab. Le contenu en fibres NDF étant l'un des principaux facteurs affectant le rendement en lait, la réduction des fibres associée à une meilleure digestibilité ont permis à une meilleure productivité à court terme (Qu *et al.*, 2013).

Au Nigéria, des essais de rationnement de veaux à l'engraissement ont également montré une amélioration des performances de croissance des animaux pendant la saison sèche grâce à l'association. Les chercheurs ont noté un gain de 15 g de poids quotidien et une augmentation du taux de croissance par rapport à un rationnement de maïs pur (Amole *et al.*, 2013).

#### **3.4. Raisonnement des facteurs techniques pour optimiser les performances de l'association**

Pour maximiser la complémentarité et minimiser la compétition au sein d'une association culturale, il faut considérer d'une part l'arrangement spatial et l'architecture des plantes, et d'autre part les dates et densités de semis, développées dans cette partie (Sullivan, 2000).

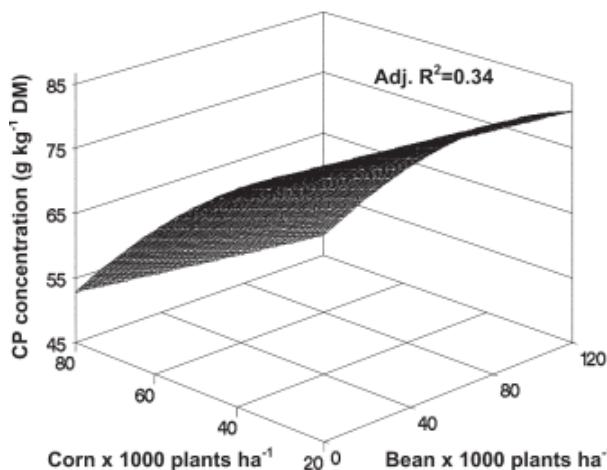
#### ➤ **Date de semis**

Des études américaines et africaines ont vérifié que retarder la date de semis du lablab par rapport à celle du maïs limitait la compétition entre les deux plantes (Armstrong *et al.*, 2008 ; Mthembu *et al.*, 2018).

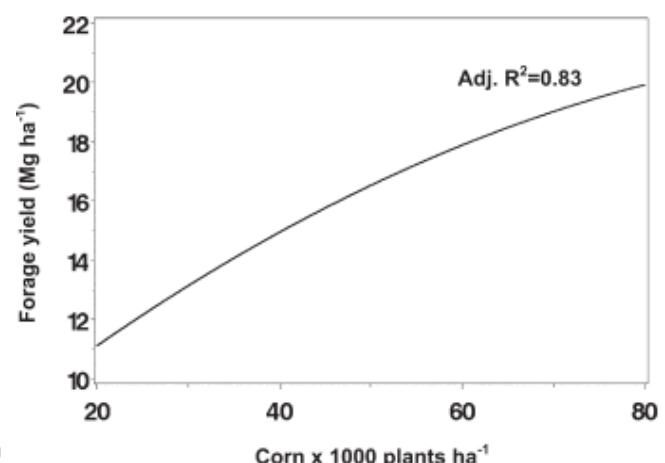
**Tableau 4 : Synthèse des effets des dates de semis du lablab et du maïs sur les performances agronomiques du fourrage dans différents contextes pédoclimatiques**

Localisation climat	Informations sur les dates de semis	Références
Etats-Unis <i>Continental</i>	Le lablab s'emmêle dans les pieds de maïs et peut empêcher son développement physiologique.	(Armstrong et al, 2008)
Afrique du Sud <i>Tropical</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lorsque le lablab est semé simultanément ou quelques jours après le semis du maïs, des baisses de rendements en maïs peuvent être observées du fait de la compétition entre le lablab et le maïs et l'enchevêtrement des deux plantes lors de la formation des grains.</li> <li>- Le semis simultané du maïs et lablab réduit de 40 à 60 % le rendement en grains de maïs par rapport au maïs pur. Des rendements en grains plus élevés par rapport au maïs pur ont été observés dans le cas où le lablab était semé 3 semaines après le maïs</li> </ul>	(Mthembu et al., 2018)
Ethiopie <i>Tropical</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Les dates de semis n'impactent pas le rendement en canne de maïs mais peuvent impacter le rendement en feuille.</li> <li>- Le semis simultané du maïs et lablab a réduit de 40 % le rendement en grains de maïs.</li> </ul>	(Hassen et Rethman, 2006 ; Redae et Tekle, 2020)
Nigéria <i>Tropical</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Des réductions de 57 % de rendement en feuilles de maïs ont été observées pour des semis simultanés de maïs/lablab.</li> <li>- Semer le lablab moins de 2 semaines après le semis de maïs entraîne des réductions de rendements en grains.</li> <li>- Mais une date de semis précoce de lablab permet de maximiser le rendement total grâce à un rendement de haricot plus élevé qui diminue lorsqu'on retarde la date de semis. Le développement simultané des 2 plantes permet un meilleur contrôle du développement des adventices par rapport à un semis tardif grâce à une meilleure couverture du sol.</li> </ul>	(Gbaranah et al., 2005)

**Figure 2 : Réponse de la teneur en protéines brutes aux densités de semis du lablab et de maïs (Armstrong et Albrecht, 2008)**



**Figure 3 : Réponse du rendement total en fourrage à la densité de semis de maïs (Armstrong et Albrecht, 2008)**



La valeur nutritive du lablab dépend de l'âge de la culture. Plus sa récolte est tardive, moins le lablab sera enrichi en protéines brutes et plus il sera enrichi en fibres NDF et impactera la digestibilité du fourrage (Armstrong *et al.*, 2008 ; Hassan *et al.*, 2014).

Retarder la date de semis du lablab de 2 à 4 semaines après le semis du maïs permet de minimiser les pertes de rendement en grains de maïs, et donne des rendements et une qualité de fourrage appréciables (**Tableau 4**). Ainsi, le pilotage de la date de récolte permet d'optimiser le rendement et la valeur alimentaire du fourrage.

### ➤ Densité de semis

Les densités de semis ont un effet sur les performances de l'association. Leur raisonnement est important afin de trouver un optimum entre valeur alimentaire et rendement. Les études américaines se sont intéressées à l'effet des densités de semis du maïs et lablab sur le rendement, la qualité du fourrage et les produits de fermentation. Elles montrent que la MAT dépend de la densité de lablab et de la concentration en légumineuse dans le fourrage, affectant la qualité différemment selon les densités de maïs (**Figure 2**). En effet, la valeur protéique du fourrage est positivement corrélée à la proportion de lablab dans le mélange. Associer du lablab à de faibles densités de maïs (entre 20 et 40 000 pieds/ha) permet au lablab de mieux se développer, la proportion de lablab est donc plus élevée. Ainsi, la contribution du lablab au mélange et les gains de MAT sont maximisés (Armstrong et Albrecht, 2008 ; Armstrong *et al.*, 2008, Contreras-Govea *et al.*, 2009a ; Contreras-Govea *et al.*, 2009b ; Kaiser et Lesh, 1977). En Ethiopie, des conclusions similaires montrent que des proportions plus élevées de lablab entraînent des teneurs en MAT plus élevées (Mpairwe *et al.*, 2002).

Ces études montrent que le rendement en MS du fourrage est déterminé par la densité de maïs (**Figure 3**). En effet, le rendement perdu par la diminution du nombre de pieds par hectare de maïs n'est pas compensé par l'ajout de lablab dans le mélange quelles que soient les densités de semis. Le lablab n'impacte donc pas de façon significative le rendement total en MS de fourrage même avec de faibles densités de maïs. La meilleure combinaison pour maximiser le rendement en MS ainsi que la quantité de lait produite rapportée à l'hectare serait de semer le maïs à 80 000 pieds/ha en pur (Armstrong et Albrecht, 2008 ; Armstrong *et al.*, 2008).

Plus la proportion de lablab dans le fourrage augmente, plus le taux d'amidon diminue. Cette diminution s'explique d'une part par des concentrations en amidon plus faibles dans les légumineuses que dans le maïs, et d'autre part par une proportion de grain de maïs plus faible dans le fourrage (Armstrong et Albrecht, 2008 ; Armstrong *et al.*, 2008). Une haute concentration en amidon résulte d'une forte densité de maïs (forte proportion de grains de maïs) et une faible proportion de lablab dans le fourrage (Armstrong et Albrecht, 2008). Cette baisse d'amidon est estimée à environ 6% et contribue à réduire les risques d'acidose si elle n'est pas accompagnée d'une baisse d'énergie du fourrage (Semental, 2020).

Tout comme la MAT et la teneur en amidon, la teneur en fibres est affectée par la densité de maïs. En effet, lorsque la densité de maïs est faible, la proportion de légumineuse est plus importante et les concentrations en NDF et donc en fibres totales sont plus élevées (Armstrong *et al.*, 2008). En climat continental, la concentration en lablab dans le mélange est positivement corrélée aux valeurs nutritives MAT, NDF et ADF (Contreras-Govea *et al.*, 2009b).

Tableau 5 : Synthèse des connaissances bibliographiques sur l'association maïs/lablab par rapport à un maïs pur

Impact sur :	Effet
Rendement en MS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pas de modification en climat continental (4 études)</li> <li>- Gain de 10 à 50% en climat Subtropical (3 études)</li> </ul>
Rendement en grains de maïs	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Perte de rendement de 20 à 40% (5 études en climat tropical)</li> <li>- Pas de modification du rendement en grain (2 études)</li> <li>- Pas d'effet sur le PMG du maïs</li> </ul>
Qualité (MAT)	Gain jusqu'à 6 points de MAT
Taux MS	Diminution de 10-15%
Teneur en calcium	Augmentation teneur en calcium et minéraux (Mg, K, P)
Taux d'amidon	Diminution du taux d'amidon de 6%
Fibres	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Augmentation des fibres NDF et ADF de 5 à 35% (5 études en climat tropical et continental)</li> <li>- Diminution des fibres NDF et ADF de 5 à 25% (3 études en climat tropical)</li> </ul>
Digestibilité	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pas d'effet sur la digestibilité de la fibre totale dNDF mais légère baisse de 5% de la digestibilité de la MS IVTDMD (3 études en climat continental)</li> <li>- Amélioration de la digestibilité de la MS dans cas où diminution des fibres (2 études en climat tropical)</li> </ul>
Fermentation du fourrage	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Augmentation de 10 à 40% les concentrations de lactate et acétate et de 25 % la formation d'ammoniac</li> <li>- pH de l'ensilage légèrement plus élevé qu'un maïs pur (4 études en climat continental et tropical)</li> <li>- Bonne fermentation générale du mélange</li> </ul>
Productivité des animaux	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pas de modification de la production de lait/ha (2 études en climat continental)</li> <li>- Augmentation de la productivité de 3 kg de lait/jour associée à une réduction des fibres et une meilleure digestibilité (1 étude en climat subtropical)</li> <li>- Augmentation de 15 g du gain de poids quotidien des veaux à l'engraissement (1 étude en climat tropical)</li> </ul>

 : Effet positif

 : Effet négatif

 : Effets variables

Il existe peu de références bibliographiques sur la culture lablab en Europe. Le **tableau 5** dresse une récapitulatif des idées principales qui ressortent dans la littérature internationale.

### 3.5. Problématique et objectifs du stage

La mission confiée par la CRANA s'inscrit dans le cadre de l'action n°1 du projet Tropi'Cow. Elle vise à capitaliser les connaissances produites par les éleveurs et conseillers agricoles sur les associations plantes C4 + lablab/cowpea sur les campagnes culturales 2019 et 2020.

Ce travail se situe en prolongation du travail d'Anthony Rault réalisé en 2019 sur la campagne 2018. Des critères de sélection avaient été définis pour sélectionner les légumineuses les plus prometteuses à associer avec les cultures de maïs et de sorgho : fort taux protéique (supérieur à 14%), cycle végétatif de plus de 120 jours, développement aérien important, hauteur supérieure à 1 m à la récolte, bonne appétence pour les animaux, faible consommation d'intrants et capacité à pousser en conditions limitantes. Selon ces critères d'association, les principales légumineuses cultivées en France (soja, lupin, luzerne, pois, féverole...) ont été écartées et le choix s'est ainsi orienté vers les légumineuses tropicales lablab et cowpea (Rault, 2019).

Les données produites par ce travail alimentent la base de connaissances sur cette association en France et serviront dans la suite des actions du projet. En effet, dans le cadre de l'action n°2, des essais analytiques en stations expérimentales et des tests en bandes chez des éleveurs seront mis en place avec ces associations à partir de 2022.

Dans ce rapport, seuls les résultats concernant l'association maïs/lablab sont présentés car elle est l'association à base de maïs la plus représentée en France.

Le stage a également fait l'objet d'un travail sur les associations impliquant du sorgho et du cowpea qui ne sera pas présenté. L'intérêt plus marqué des éleveurs pour l'association maïs/lablab justifie le contenu de ce rapport.

Ce travail de capitalisation d'expériences doit répondre à plusieurs questions :

- Quelles sont les performances agronomiques, zootechniques, économiques de ces associations dans différents contextes pédoclimatiques français ?
- Quelles sont les clés de réussite/facteurs d'échecs de ces associations chez les éleveurs ? Quels sont les principaux facteurs explicatifs ?
- Quels sont les itinéraires techniques les plus pertinents pour l'implantation et la conduite de ces associations selon le mode de production ?
- Quelles sont les points techniques à approfondir dans l'avenir pour améliorer la conduite, les performances et la valorisation de ces associations ?

Dans le cadre de l'action 2 « Production de références agronomiques » du projet Tropi'Cow, un second travail vise à évaluer l'efficacité et l'intérêt d'inoculer les semences de lablab.

Ce travail doit répondre aux questions suivantes :

- Quelle est l'efficacité de l'*inoculum* aujourd'hui disponible sur le marché sur la capacité de nodulation du lablab ?
- La capacité de nodulation du lablab varie-t-elle selon les variétés utilisées et le type de sol ?

Ce mémoire de fin d'études vise à répondre à la problématique suivante :

**"Quels sont les freins et facteurs d'amélioration des itinéraires de production des associations de maïs avec une légumineuse tropicale lablab en France métropolitaine ?**

Tableau 6 : Synthèse des informations apportées par les différentes sources d'informations

	Sujet	Travail d'enquête			Expérimentation en serre
		Enquêtes éleveurs	Enquête en ligne	Expérimentations conseillers	
Informations qualitatives	Origines et objectifs	×	×		
	Semis	×	×	×	
	Spécificités variétales			×	×
	Inoculation	×	×		×
	Fertilisation	×	×	×	
	Désherbage	×	×	×	
	Gestion ravageurs	×	×	×	
	Développement de la culture	×	×	×	×
	Conditions de récolte	×	×		
	Conservation	×	×		
	Valorisation par les animaux	×	×		
	Volet social	×			
Informations quantitatives	Freins/réussites	×	×	×	
	Rendements			×	×
	Analyse MAT			×	×
	Quantité de protéines produites par unité de surface			×	×
	Impact sur les achats de concentrés	×	×		
	Indicateurs économiques			×	

## 4. Matériel et méthodes

### 4.1. Présentation de la démarche

Le recueil des expériences et connaissances sur la thématique des associations plantes en C4 avec des légumineuses tropicales a été conduit auprès d'un public d'éleveurs, de conseillers agricoles, de semenciers et de chercheurs. La capitalisation de l'information s'est faite par la mobilisation de divers acteurs et moyens. Le **tableau 6** récapitule les informations apportées par chaque source.

#### ➤ Enquêtes approfondies auprès des éleveurs

La première partie de la mission visait à réaliser des enquêtes approfondies auprès d'une trentaine d'éleveurs du territoire français. Les objectifs de cette enquête étaient multiples : (i) qualifier les itinéraires techniques mis en place avec ces associations, (ii) déterminer les freins/limites et clés de réussite de ces associations selon le contexte pédoclimatique, (iii) identifier les points techniques à approfondir dans la suite du projet.

Les contacts d'éleveurs ayant testé ce type d'associations ont été fournis par les Chambres Départementales d'agriculture partenaires du projet Tropi'Cow ainsi que par des recherches de contacts sur internet. La zone géographique ciblée par ces enquêtes s'étendait au territoire de Tropi'Cow élargie à tout l'Ouest de la France afin de capitaliser un maximum d'informations et prendre en compte différents contextes pédoclimatiques.

Un questionnaire a été élaboré afin d'homogénéiser la structure des entretiens. Le questionnaire comprend plusieurs volets et inclut la description de l'exploitation et des ateliers, le contexte pédoclimatique des parcelles incluant du maïs ou sorgho, les itinéraires techniques culturaux (ITKs), les conditions de récolte et de conservation, les impacts zootechniques et le bilan de ces associations selon les éleveurs. L'intégralité du questionnaire est présentée dans l'**annexe 1**.

Les éleveurs ont été contactés principalement par téléphone du fait de l'éloignement géographique, et six entretiens ont été réalisés sur les exploitations. Le questionnaire a été élaboré de façon à ne pas dépasser une durée moyenne d'entretien de 1h30 en présentiel et d'une heure par téléphone. Le planning des enquêtes a été réparti sur 3 semaines avec en moyenne 2 entretiens par jour pour un total de 31 enquêtes. Les données recueillies auprès des éleveurs ont été organisées sous forme de base de données dans un tableau Excel avant le lancement des analyses.

#### ➤ Enquête en ligne

Une enquête en ligne a été lancée le 8 mars 2021 en complément des enquêtes approfondies. Ce questionnaire en ligne s'adressait aux éleveurs et conseillers agricoles ayant et n'ayant pas testé les associations maïs/sorgho et légumineuses tropicales. Les objectifs de cette enquête en ligne étaient multiples : (i) identifier des éleveurs ayant testé ces associations et ainsi alimenter la liste d'éleveurs à enquêter lors d'un entretien approfondi, (ii) identifier des conseillers agricoles ayant réalisé des essais avec ces associations afin de récupérer les résultats, (iii) collecter des éléments de réflexion des éleveurs et conseillers n'ayant pas testé ces associations.

L'enquête a utilisé le support du logiciel de questionnaire en ligne « Drag'n Survey » pour une durée de réponse moyenne de 15 min. Elle a été relayée dans la France entière par les partenaires du projet au sein des réseaux Chambres d'Agriculture, Idele et coopératives. Ce questionnaire en ligne comporte une sélection de questions provenant des entretiens approfondis de manière à récolter l'information essentielle sans entrer dans le détail des résultats techniques. Les éleveurs et conseillers ayant répondu ont ensuite été recontactés pour réaliser des entretiens approfondis et récolter des résultats d'essais.

**Tableau 7 : Caractéristiques des deux types de sol étudiés dans l'expérimentation en serre réalisées sur les parcelles où la terre a été prélevée.**

	<b>Description</b>	<b>Zone de prélèvement</b>	<b>pH</b>	<b>% MO</b>	<b>% Argile</b>	<b>% Limon</b>	<b>% Sable</b>	<b>Reliquat azoté minérale (kg/ha) Mesurée</b>
<b>Terres rouges à Châtaigniers</b>	Sol de limon sur argile en profondeur, sain, à faible teneur en cailloux	Lusignan	6.5	2	18	59	23	78
<b>Groie</b>	Argilo-calcaire moyennement profond sur calcaire dur, teneur en cailloux moyenne	Saint-Jean d'Angely	7.5-8	3-4	35	35	30	48

## ➤ Collecte des essais des conseillers agricoles

Les conseillers agricoles ont transmis les données de suivis de tests réalisés chez les éleveurs. Ces échanges ont également permis de capitaliser les résultats d'essais menés par les différents organismes de développement.

Des informations complémentaires ont été apportées par deux sociétés spécialisées dans la distribution de semences de cultures fourragères, Semental et GLC Feed. Ces deux sociétés commercialisent des semences de lablab et cowpea et collaborent avec des éleveurs testant ces légumineuses en association avec du maïs ou sorgho.

Les chercheurs de l'INRAE de l'UMR Agroécologie de Dijon ont été mobilisés par mail et visioconférence afin d'acquérir des informations sur les capacités de nodulation de ces deux légumineuses cibles ainsi que sur le volet « inoculation » du projet.

Depuis la commercialisation des semences de lablab en France, des conseillers agricoles, techniciens de coopératives et entreprises semencières réalisent des essais en micro-parcelles ou en bandes chez des éleveurs. Plusieurs essais ont été réalisés par des partenaires du projet mais également en dehors du périmètre géographique du projet. Il était important de récolter ces résultats d'essais plus structurés afin d'obtenir des données quantitatives sur ces associations depuis 2018.

Dans ce rapport, est appelé "test" un essai de maïs/lablab chez un éleveur pour sur année culturelle, sans obligatoirement la présence d'un témoin de maïs pur. Est appelé "expérimentation" un essai de maïs/lablab sur une année culturelle conduit en grandes bandes par un conseiller avec la présence d'un témoin de maïs pur. Nous distinguons les expérimentations des conseillers de l'expérimentation en serre conduite durant ce stage.

## ➤ Expérimentation en serre

Depuis 2019, des semenciers importent et testent des *inocula* du lablab. Depuis 2020, un travail a été engagé par l'INRAE de Dijon avec la CRANA pour tester, identifier et démontrer l'intérêt de l'inoculation avec des souches de *rhizobia* efficientes sur le lablab et adaptées aux différentes variétés cultivées aujourd'hui en France métropolitaine.

L'expérimentation en serre a été conduite du 30 avril au 12 juillet 2021. Trois objectifs principaux ont été définis :

- Tester l'efficacité d'un *inoculum* sur la capacité de nodulation du lablab
- Etudier l'impact de la fertilisation minérale azotée sur la nodulation du lablab
- Etudier la spécificité de nodulation selon les variétés de lablab et types de sol et possibles interactions *inoculum* x type de sol x variétés de lablab

Les essais ont été menés dans une serre du site INRAE de Lusignan mettant à disposition 4 tablards sous atmosphère semi-contrôlée (T°C air 22°C en moyenne) avec irrigation par immersion. Les essais ont été réalisés en pots contenant 4 kg de terre. Les facteurs de variation étudiés sont :

- Le type de sol : 2 modalités de sols naturels : Terres rouges à Châtaigniers/Groie
- Les variétés de lablab : 3 modalités : Sustain/Rongaï/ Opale
- L'inoculation : 2 modalités : sans *inoculum*/avec *inoculum* 1 (INO1)
- La fertilisation : 2 modalités : sans fertilisation/60 unités d'azote (ammonitrat 33.5)

L'*inoculum* testé est constitué de la souche australienne *Bradyrhizobium* sp CB1024 et fourni par l'INRAE de Dijon. Les deux types de sol testés dans les expérimentations ont été récupérés chez des éleveurs et ont été prélevés dans des zones représentatives du type de sol concerné. Les caractéristiques de ces deux sols sont présentées dans le **tableau 7**.

Figure 4 : Dispositif expérimental de l'expérimentation en serre

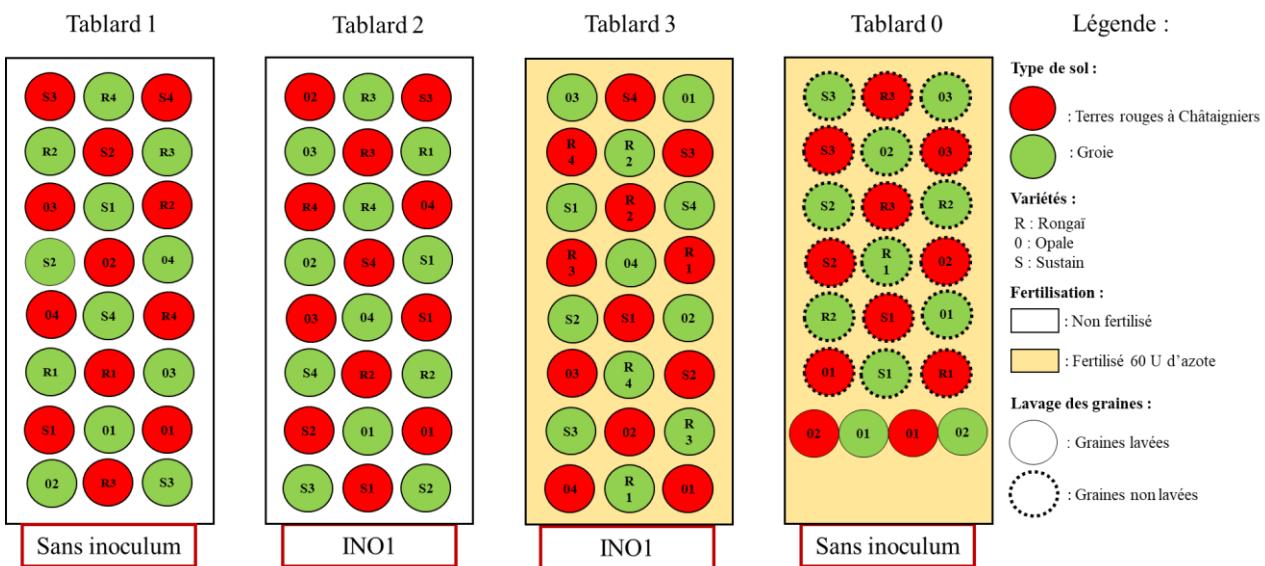
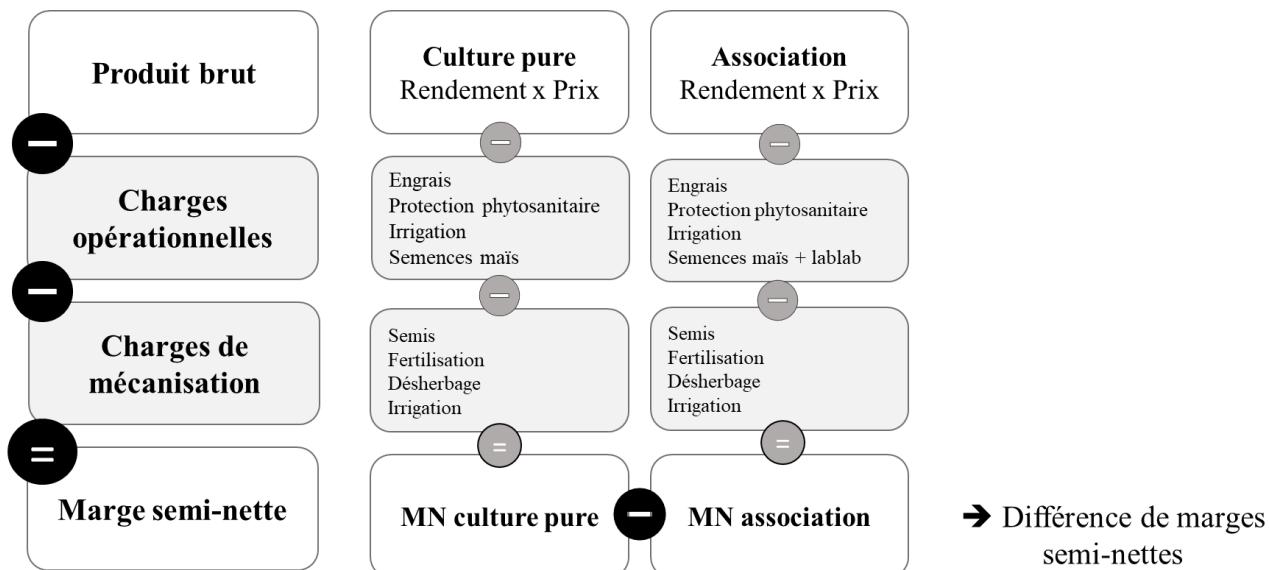


Tableau 8 : Facteurs mesurés dans l'expérimentation en serre

	Semis	En développement	Récolte à 2 mois	
			Variables d'état	Nodulation
Plantes inoculées	Pourcentage de levée Nombre de jours entre le semis et la levée	Vitesse de développement en fonction des différents stades physiologiques et des °j	Biomasse aérienne, biomasse racinaire par pot	Massé sèche de la totalité des nodosités par pot Observation de la couleur des nodosités
			Analyse de MAT	Vérification de l'absence de nodosités sur les témoins

Figure 5 : Méthode de calcul de la marge semi-nette de l'association



Le dispositif expérimental en blocs complets randomisés, avec les différents traitements, est présenté dans la **figure 4** et les différents paramètres agronomiques mesurés et observés sont récapitulés dans le **tableau 8**.

L’expérimentation a été arrêté mi-juillet soit plus de deux mois après l’implantation. Cette durée a permis de quantifier correctement l’état de nodulation des plantes. Le protocole complet de l’expérimentation en serre est présenté dans l’**annexe 2**.

#### 4.2. Compilation et traitements des données

##### 4.2.1. Mode d’analyse des données brutes

L’analyse des données recueillies auprès des éleveurs et organismes de développement se divise en plusieurs parties. Tout d’abord, les informations récoltées chez les éleveurs ont fait l’objet d’une analyse qualitative par le biais de statistiques descriptives. Ces analyses concernent les parties sur les conditions de récolte et de conservation, les impacts zootechniques et le bilan des associations selon les éleveurs. Cette partie permet d’identifier les freins, limites et clés de réussite de l’association maïs/lablab.

Les données quantitatives récoltées chez les éleveurs telles que les rendements et valeurs alimentaires ne peuvent être comparées entre elles car les contextes pédoclimatiques et les ITKs mis en place sont très différents selon les exploitations agricoles. Ainsi, l’analyse des données de rendement et de MAT s’est focalisée uniquement sur les résultats des expérimentations menées par les conseillers agricoles. Des statistiques analytiques ont été réalisées afin de comparer les données de la culture en association et de la culture pure.

##### 4.2.2. Evaluation économique de la mise en place de l’association maïs/lablab

Une analyse économique a été réalisée à partir des données des différents ITKs mis en place par les conseillers. Ce travail permet de constater si l’association du lablab au maïs entraîne des variations importantes de charges opérationnelles et de mécanisation.

La comparaison des marges semi-nettes d’une culture pure vs. association permet de comparer leurs rentabilités relatives. Ainsi, il s’agit d’évaluer les charges opérationnelles et charges de mécanisation des associations en comparaison avec la conduite de la culture pure. Ces calculs sont réalisés sur les résultats d’essais de conseillers ayant réalisé des analyses de fourrage et estimé les rendements de l’association et de la culture pure d’une même parcelle.

La **figure 5** présente la méthode de calcul des marges. Seules les différences de charges sont prises en compte. Dans le cas où les ITKs de l’association et de la culture pure sont identiques, le calcul est simplifié en prenant uniquement en compte le surplus de charges opérationnelles généré par l’achat des semences de lablab.

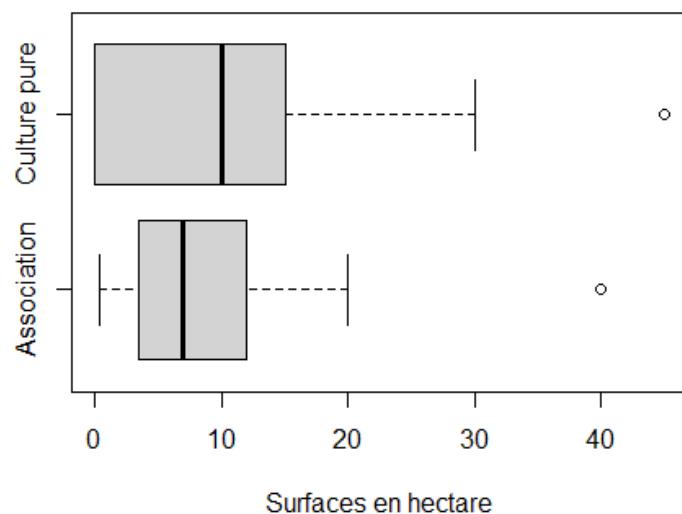
Dans le calcul du produit brut, le prix de la culture correspond à : Rendement (t.MS) x prix du maïs ensilage sur pied. Est aussi calculé : la quantité de protéines produites par unité de surface (ha) à partir des analyses de fourrage.

Le prix du maïs fourrage sur pied est estimé selon le prix du marché du maïs grain en considérant que 65 q/ha de maïs grain correspondent à un rendement de 12 t.MS/ha (Arvalis, 2021). Ainsi, le prix moyen du maïs fourrage sur pied est estimé à 92€/tonne pour le maïs conventionnel (prix moyen du maïs grain en 2020 : 170€/tonne) et 146€/tonne pour le maïs bio (prix moyen du maïs grain en 2020 : 270€/tonne). Les coûts des semences de maïs et de lablab pris en compte pour les calculs économiques sont présentés en **annexe 3**.

Figure 6 : Répartition géographique des exploitations enquêtées



Figure 7 : Distribution des surfaces mises en association maïs/lablab par rapport à la surface en maïs pur (n = 41)



## 5. Résultats

### 5.1. Synthèse des enquêtes auprès des éleveurs

#### 5.1.1. Présentation de l'échantillon d'enquête

L'enquête a permis d'entretenir 31 éleveurs qui ont testé au moins une année les associations maïs/sorgho et légumineuses tropicales. L'enquête en ligne a reçu 41 réponses exploitables de conseillers et éleveurs et a permis d'identifier 3 éleveurs pour un entretien approfondi. Les exploitations enquêtées se situent dans le centre et l'ouest de la France et sont exclusivement des exploitations bovines (**Figure 6**). 25 exploitations sur 31 ont testé l'association maïs/lablab et 7 ont testé d'associer le sorgho au lablab ou cowpea. Les résultats des associations à base de sorgho ne sont pas présentés dans ce rapport puisque le lablab présente à ce jour un meilleur potentiel d'association avec le maïs. Les données présentées par la suite concernent l'échantillon d'éleveurs ayant cultivé du maïs/lablab.

18 exploitations sur 25 ont un mode de production conventionnel et 7 exploitations sont en agriculture biologique (soit 28% de l'échantillon maïs/lablab). Ainsi, les éleveurs bio sont surreprésentés par rapport aux conventionnels dans cet échantillon, en comparaison de la proportion moyenne française se situant autour de 6% pour les filières bovines (lait et viande) (Agreste, 2019). En considérant qu'un test correspond à une année culturelle de maïs/lablab sur une exploitation, nous dénombrons 41 tests de maïs/lablab. La SAU médiane des exploitations s'élève à 160 ha et la SFP à 90 ha. L'échantillon d'enquête inclut une exploitation particulièrement grande de 690 ha de SAU. 14 tests de maïs/lablab ont été réalisés en absence de maïs pur témoin sur cette exploitation.

Avec une surface moyenne de 18 ha, le maïs (pur et associé) représente 24% de la surface fourragère principale (SFP) des exploitations conventionnelles, et 13% dans les exploitations bio. En valeur médiane, 7 ha ont été mis en association maïs/lablab, tous modes de production confondus. 20 et 40 ha de maïs/lablab ont été cultivés par deux exploitations conventionnelles qui se démarquent en mettant deux fois plus de surfaces en association qu'en maïs pur (**Figure 7**).

Pour 88% des éleveurs, l'objectif poursuivi *via* le test de l'association est la recherche d'autonomie protéique sur l'exploitation par l'amélioration de la valeur protéique du fourrage. Deux éleveurs ont testé l'association dans le but d'améliorer le rendement du maïs. En second plan, les éleveurs ont majoritairement cité l'amélioration de la couverture du sol pour concurrencer et limiter le développement des adventices. L'association permettrait de diminuer l'usage d'herbicides pour les conventionnels, et d'améliorer la gestion des adventices en bio pour compléter les actions du désherbage mécanique. Diversifier les sources de protéines dans la ration des bovins en diversifiant l'assoulement est un objectif important pour quatre éleveurs laitiers.

#### 5.1.2. Les itinéraires techniques mis en place par les éleveurs

##### 5.1.2.1. Préparation du semis et implantation de la culture

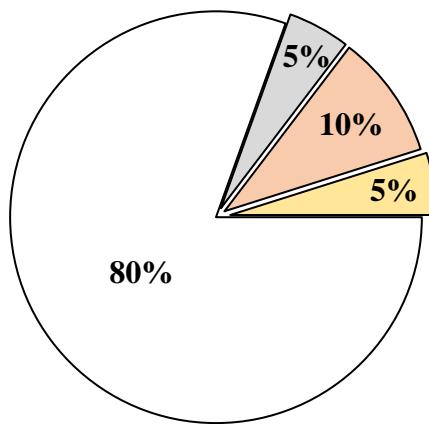
#### ➤ Variétés

Quatre variétés ont été cultivées par les éleveurs : Rongaï, Sustain, Purple et Highworth. Rongaï est la plus utilisée par les éleveurs enquêtés (73%). Les variétés de maïs associées au lablab sont de type fourrage avec, dans 66% des cas, des précocités qualifiées de précoce et dans 29% des cas qualifiées de demi-précoce. Les éleveurs n'ont pas modifié leurs pratiques en termes de choix de variétés de maïs ensilage puisque les mêmes précocités étaient utilisées en maïs pur et maïs associé.

#### ➤ Semis

Dans 80 % des tests, le maïs/lablab a été semé entre le 5 et 20 mai tout comme le maïs pur. Les éleveurs semant le maïs pur en avril ont retardé le semis de l'association en mai, après leur maïs pur.

Figure 8 : Mode de semis du mélange maïs/lablab (n = 41)



- Semis sur le rang (1 passage de semoir) au semoir monograine
- Semis sur le rang (1 passage de semoir) en semis direct au semoir à céréales
- Semis sur le rang (2 passages de semoir) au semoir monograine
- Semis en inter-rang (2 passages de semoir) au semoir monograine et semoir à céréales

Les éleveurs ont opté pour différents modes de semis de l'association. Dans 90% des tests, le semoir monograine a été utilisé pour semer le lablab qui présente une taille de graine proche de celle du maïs (PMGlablab = 220 gr, PMGmaïs = 300 gr).

En premier lieu, dans 85% des tests, le maïs et le lablab ont été semés simultanément en un passage de semoir (**Figure 8**). Dans ce cas, les semences de maïs/lablab sont mélangées à la main directement dans les éléments semeurs ou la trémie ou au préalable dans une bétonnière, et semées sur la même ligne de semis. Cette technique entraîne de l'hétérogénéité dans la répartition des semences de chaque espèce sur la ligne de semis. Une mauvaise répartition des pieds de maïs crée des espaces vides qui freinent le développement du lablab. Il ne trouve pas de tuteur à proximité et se développe alors à l'horizontal.

Pour limiter ce manque d'homogénéité au semis, le mélange peut être semé en deux passages de semoir. Le lablab est semé, d'une part en inter-rang du maïs (modalité très peu testée par les éleveurs), soit d'autre part lors d'un deuxième passage de semoir monograine en sursemant dans la ligne de semis du maïs. Cela assurerait une meilleure répartition des graines sur la ligne de semis. Le maïs et le lablab ont été semés le même jour pour l'ensemble des tests effectués.

Au vu des résultats (80 %), les éleveurs utilisent la même technique de semis que le maïs pur mais en augmentant le nombre de pieds/m<sup>2</sup>. Pour limiter les effets de compétition pour les ressources, la densité de semis du maïs est diminuée d'en moyenne 10 000 pieds/ha (autour de 80 000 pieds/ha) par rapport à la culture de maïs pur (90 000 pieds/ha). La densité médiane de lablab testée est de 60 000 pieds/ha. Dans 44% des tests, le lablab et le maïs ont été semés à la même densité. Il est nécessaire de changer les réglages du semoir pour atteindre les densités de semis cibles du maïs/lablab soit en moyenne 160 000 pieds/ha. La densité totale de semis est donc supérieure à celle mise en place en maïs pur, ce qui peut entraîner de la compétition en absence d'*inoculum*.

### ➤ La levée

D'après les éleveurs, le lablab lève en moyenne 2 à 3 jours après le maïs. Dans 70% des tests, aucun problème de levée n'a été noté par les éleveurs. Dans ces cas, le semis a été réalisé dans des conditions idéales, dans des sols réchauffés disposant de fraîcheur en surface. Cependant, dans 30% des tests, l'appréciation visuelle des éleveurs témoigne d'un taux de levée inférieur à 90% pour le lablab. Selon les éleveurs, les problèmes de levée observés ne sont pas liés au mode de semis. Les quatre causes principales de diminution de levée du lablab identifiées dans l'enquête sont :

- 1) Un semis trop précoce du lablab peut entraîner des pertes à la levée avec les risques de gels des cotylédons. En effet, malgré sa tolérance à un gel léger passager, des pertes de près de 40% ont été observées sur lablab suites aux baisses de températures pouvant arriver autour du 10 mai dans 3 exploitations du Sud-Ouest.
- 2) Des pertes de 10 à 50% de pieds de lablab à la levée ont été observées sur 3 parcelles de limons battants à la suite de fortes pluies après le semis. La formation d'une croûte de battance sur les terres fragiles a davantage impacté le lablab que le maïs d'après les observations qualitatives des éleveurs. Sa sensibilité à la battance n'est pas renseignée dans la littérature scientifique.
- 3) Des attaques de mouches de semis ont été notées sur maïs et sur lablab chez un agriculteur ayant évalué à 30 % les pertes sur chaque espèce. Des pertes similaires ont été observées sur les parcelles en maïs pur.
- 4) Des pourcentages de levée faibles ont également été observés à la suite d'un mauvais réglage du semoir et une profondeur de semis trop importante du lablab (6 cm contre les 3 cm préconisé), et dans les passages de roues dus au semis en deux passages en inter-rang du mélange.

Aucun lien entre les modalités de semis et la levée n'a pu être établi dans cet échantillon.

Tableau 9 : Liste des herbicides « maïs » sélectifs du lablab (inspiré du travail de Marie Saint-Maxin, de la CRA Nord-Pas-de-Calais)

Produits	Dose max recommandée /ha	Mode d'action	Spectre	Stade maïs	Matière active
<b>Mercantor Gold</b>	2 L	Foliaire : partiel sur des graminées très jeunes, Racinaire	Anti - dicotylédones, anti- graminées	Post-semis, pré levée ou post levée précoce	S-métolachlore
<b>Atic Aqua</b>	2.6 L	Racinaire et action par contact Un peu foliaire	Anti - dicotylédones, anti- graminées	Post-semis pré levée ou post levée précoce et jusqu'à 6F	Pendiméthaline
<b>Prowl 400</b>	3 L	Racinaire et action par contact	Anti - dicotylédones, anti- graminées	Pré-levée ou Post Levée précoce jusqu'à 1F	Pendiméthaline
<b>Basagran SG</b>	1.6 kg	Foliaire et action par contact	Anti-dicotylédone	Post-levée	Bentazone
<b>Dual Gold</b>	1.09 L	Foliaire : Partiel sur des graminées très jeunes Racinaire	Anti - dicotylédones, anti- graminées	Pré-levée ou post-levée précoce du maïs (jusqu'à 3F)	S-métolachlore + Bénoxacor

Figure 9 : Gestion du désherbage du maïs/lablab dans l'échantillon d'enquête (n = 41)

Figure 9a : Gestion dans les tests bio (n = 12)

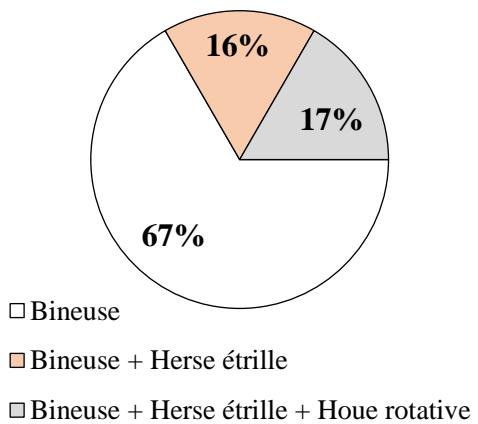
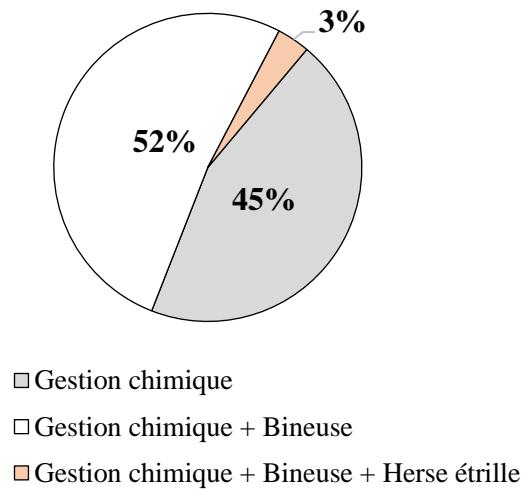


Figure 9b : Gestion dans les tests conventionnels (n = 29)



### 5.1.2.2.Gestion du désherbage

Dans les exploitations conventionnelles, le désherbage chimique est compatible avec l'association maïs/lablab à condition d'adapter le choix des herbicides pour éviter les risques de phytotoxicité sur le lablab. La liste des herbicides sélectifs du lablab est restreinte notamment en produits de post-levée (**Tableau 9**). Ceci constitue une contrainte pour les éleveurs qui souhaitent positionner un herbicide de rattrapage en post-levée, en cas de développement d'adventices envahissantes telles que le liseron ou le datura, dont la toxicité est très problématique pour la santé humaine et animale.

Le désherbage mécanique est possible avec l'association. En effet, dans 95% des tests, le lablab et le maïs sont semés sur le même rang, avec un inter-rang d'en moyenne 75 cm assurant la possibilité de désherber mécaniquement. Le désherbage mécanique a été mis en place dans 100% des tests bio (**Figure 9a**) et dans 55% des tests conventionnels en complément des herbicides (**Figure 9b**). Selon les éleveurs, il ne faut pas se préoccuper du lablab lors des passages d'outils. Il est préférable de prioriser la production d'énergie permise par le maïs en assurant la propreté de la culture.

Les passages de bineuse sont possibles jusqu'au stade « limite passage tracteur » du maïs (1m20) puisque à ce stade, le lablab reste localisé sur le rang et ne se coince pas dans les dents de la bineuse. D'après les observations des éleveurs, les pertes en pieds de lablab se situent autour de 5%, soit une valeur équivalente aux pertes observées sur maïs. Face aux risques d'enfoncement du lablab (plus petit en stade que le maïs) lors du binage, ils recommandent de diminuer la vitesse de travail pour limiter le recouvrement des plantules, plus sensibles que le maïs au passage de l'outil.

### 5.1.2.3.Gestion de la fertilisation

Dans 85% des tests de maïs/lablab, l'ITK lié à la fertilisation est similaire à celui du maïs pur. Les agriculteurs bio enquêtés n'ont pas modifié la fertilisation par rapport à un maïs pur et ont eu recours uniquement à des apports de fertilisation organique via des fumiers, lisiers, composts, fientes. 88% des éleveurs conventionnels ont eu recours à la fertilisation minérale et organique sur le maïs/lablab et 12% uniquement à la fertilisation minérale. En moyenne, 75 unités d'N/ha sous forme de fertilisation minérale et 120 unités d'N/ha sous forme organique ont été apportées dans les tests conventionnels et 85 unités d'N/ha sous forme organique dans les tests bio.

Parmi les tests menés en conventionnel, 4 agriculteurs ont testé des *inocula* : des *inocula* de luzerne et de soja et l'*inoculum* Nodule N de Semental. Seuls ces éleveurs ont choisi de diminuer la dose de fertilisation minérale azotée de 18 à 30 UN à la suite des recommandations de technico-commerciaux. Sans *inoculum*, les éleveurs conservent le même ITK qu'un maïs pur puisque le lablab n'assure pas sa fonction de légumineuse et entre en compétition pour les ressources.

## 5.1.3. Performances agronomiques et environnementales de l'association

### ➤ Résistance aux stress abiotiques

Face à l'augmentation des épisodes de sécheresse, les éleveurs sont à la recherche d'espèces plus résistantes telles que le lablab. En effet, la plante tropicale reste verte jusqu'à la récolte malgré la sécheresse. Ceci peut s'expliquer en partie par un développement racinaire important même en l'absence d'*inoculum*. Les observations visuelles des éleveurs montrent cependant que malgré sa résistance au stress thermique, le lablab souffrirait autant du stress hydrique que le maïs lors des épisodes de grande sécheresse.

Si dans la bibliographie, l'hypothèse est faite que l'association permettrait au maïs de mieux supporter la sécheresse grâce à ses profondes racines (Sheahan, 2012), aucune différence visuelle n'a été notée sur la résistance au stress hydrique du maïs associé en comparaison du maïs pur. Lorsque le lablab est bien développé, les feuilles peuvent néanmoins apporter de l'ombrage au maïs en fin de cycle, permettant ainsi de garder de la fraîcheur au sol.

Figure 10 : Observations de nodosités chez les éleveurs (n = 41)

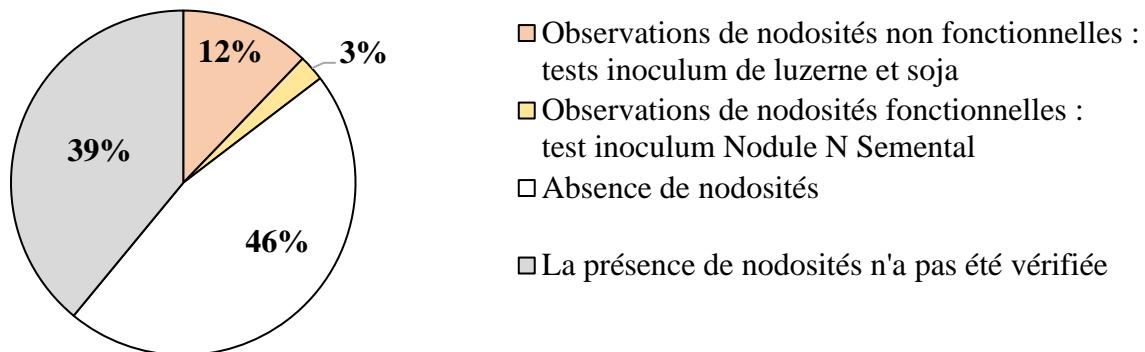


Tableau 10 : Présentation des difficultés rencontrées par les éleveurs enquêtés lors de la récolte

Causes	Conséquences lors de l'ensilage	Suggestions proposées par les éleveurs
Les lianes du lablab se développent jusqu'à 3 à 4 rangs de maïs.	L'ensileuse tire sur les rangs de maïs non ensilés sur le côté avec l'effet liane et casse des pieds de maïs qui ne seront pas ramassés.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mettre en place des scies perpendiculaires (similaires aux scies à colza) pour sectionner les lianes.</li> <li>- Semer des rangs de maïs sans lablab de façon à ensiler des rangs de maïs sur le côté du bec. La liberté d'action du bec Kemper permet de sauter des rangs.</li> </ul>
Si le maïs ne lève pas ou est très peu développé dans certaines zones, le lablab n'a pas de tuteur et reste au sol.	Sans tuteur, le lablab forme un couvert au sol qui est trop bas pour être ramassé par l'ensileuse. Le chauffeur ne prend pas le risque de baisser le bec en cas de cailloux.	Possibilité de faire pâture les parcelles de maïs/lablab après l'ensilage pour valoriser le lablab resté au sol.
Le lablab reste vert jusqu'à la récolte.	Le fourrage ne monte pas dans l'ensileuse en conditions humides.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ensiler lorsqu'il fait sec, éviter les conditions humides matinales.</li> <li>- Privilégier les conditions de récolte plutôt que l'avancement du lablab. Se baser sur la maturité du grain de maïs, et au mieux attendre 3 à 4 jours car le lablab augmente l'humidité du fourrage.</li> </ul>
Lorsque l'association est bien développée, le lablab passe au-dessus du maïs et le maïs/lablab forme un couvert végétal dense qui risque de verser s'il y a un coup de vent avant la récolte.	Certaines parties de la culture versée peuvent être ramassées par l'ensileuse mais cela diminue le débit de chantier et complique le travail du chauffeur.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Organisation des rangs du semis : introduction de rangs de maïs pur pour assurer un soutien physique de la culture.</li> </ul>
Les lianes entourant le maïs forme un couvert vert dense. L'ensilage est plus lourd qu'un ensilage de maïs classique.	Les lianes s'enroulent autour des vis sans fin du bec. La récolte de l'association demande plus de puissance à l'ensileuse et aux tracteurs.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Débrayer les vis sans fin latérales.</li> <li>- Prévoir d'ensiler moins de surface par jour.</li> </ul>

### ➤ Sensibilité aux stress biotiques en cours de culture

Les éleveurs ont constaté peu de dégâts de ravageurs sur la culture. Deux attaques de pucerons verts ont été recensées sur lablab. Elles auraient engendré des dégâts foliaires au stade 2 à 3 feuilles de la plante. Si l'impact reste faible sur le maïs, des pertes de pieds ont été constatées.

Concernant la pression du grand gibier et des corvidés, 25% des éleveurs pensent que le lablab est moins attaqué du fait d'une moindre appétence que le maïs. Par ailleurs, un éleveur bio cultive l'association afin de compenser les pertes de pieds de maïs liées aux attaques de taupins. Ce coléoptère ne toucherait pas le lablab, et la légumineuse permettrait alors de couvrir le sol découvert par la perte de pieds de maïs. Cette hypothèse nécessite d'être vérifiée dans la suite du projet.

### ➤ Formation de nodosités

Certains éleveurs ont observé des nodosités non fonctionnelles sur les racines du lablab dans des sols de limons à la suite de l'utilisation d'*inocula* de soja et de luzerne. Dans 46% des tests, l'absence de nodosités sur les racines du lablab confirme les observations des études précédentes, montrant l'absence des partenaires bactériens spécifiques à la plante dans les sols français et le non-fonctionnement des *inocula* de soja et luzerne avec le lablab (**Figure 10**) (Rault, 2019).

En 2020, un éleveur a observé des nodosités fonctionnelles roses sur les racines du lablab en testant l'*inoculum Nodule N* commercialisé par Semental.

### ➤ Récolte

Le fourrage produit par l'association maïs/lablab est récolté dans la même période que l'ensilage de maïs pur. L'intégralité des tests ont été récoltés grâce à un bec rotatif type Kemper, adapté à la récolte de ce type de fourrage.

48% des exploitations ont rencontré des difficultés à la récolte (**Tableau 10**). Lorsque l'association est bien développée, les complications engendrées à la récolte constituent un frein pour la mise en place de l'association. Les suggestions d'améliorations techniques avancées par les éleveurs constituent de bonnes pistes de travail pour réduire la charge de travail associée à l'ensilage.

#### 5.1.4. Performances zootechniques de l'association

##### 5.1.4.1. Valorisation du fourrage produit par les animaux

L'ensilage de maïs/lablab est plus vert et plus humide à la récolte qu'un maïs pur. En effet, la présence du lablab augmente le taux d'humidité et produit un fourrage ayant un taux de MS autour de 30%. Ainsi, il est plus facile de tasser l'ensilage qui est plus compact. Le fourrage a été conservé en silo couloir dans 58% des tests et en silo taupinière dans 36% des tests. L'introduction de lablab dans le fourrage n'impacte pas la conservation du fourrage dans 85% des tests voire l'améliore dans 10% des tests. Aucun souci de conservation majeur, directement lié au lablab, n'a été identifié.

Les éleveurs ayant produit un volume suffisamment important de l'association pour créer un silo complet de maïs/lablab ont pu observer les différences d'appétence de l'ensilage. Lors de la distribution du fourrage aux animaux, il y a une phase de transition entre l'ensilage de maïs et celui de maïs/lablab. En effet, une fois ensilé le lablab émet une odeur assez forte qui provoquerait des hésitations chez les vaches. Ainsi, quelques refus sont observés durant les premiers jours. La consommation du fourrage revient ensuite à un niveau habituel. Le lablab ne créerait pas d'inappétence à long terme par rapport à un ensilage de maïs pur dans 92% des tests, voire serait plus appétant dans 8 % des tests. L'association a permis d'augmenter l'appétence dans deux exploitations ayant produit une dizaine d'hectares de maïs/lablab. Dans certaines exploitations, le maïs/lablab a été distribué conjointement avec d'autre type d'ensilages et l'effet sur l'appétence a donc été plus difficile à évaluer avec l'effet de dilution.

Figure 11 : Schéma des situations où l'intégration du maïs/lablab dans la ration a abouti à un changement de ration (n = 10)

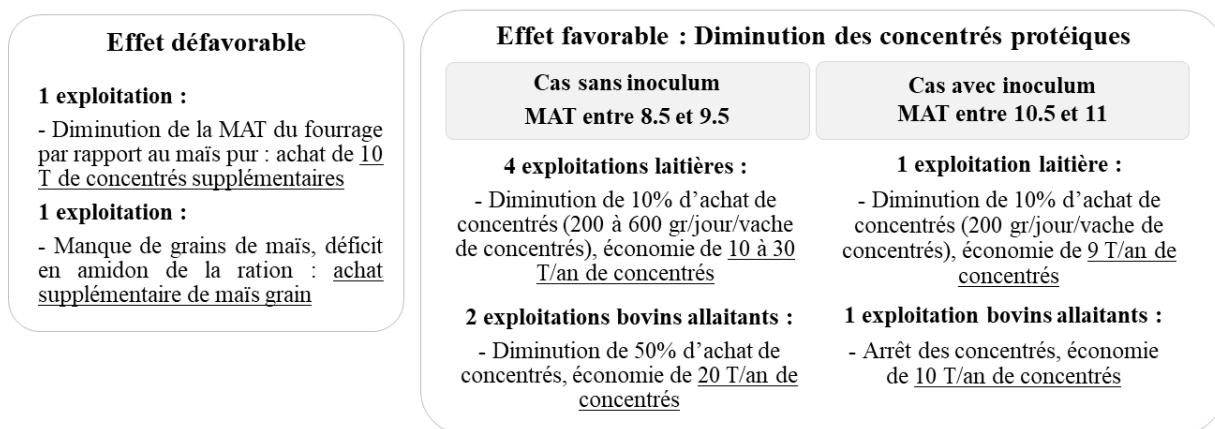


Figure 12 : Schéma bilan des impacts de l'association maïs/lablab sur la performance sociale de l'exploitation

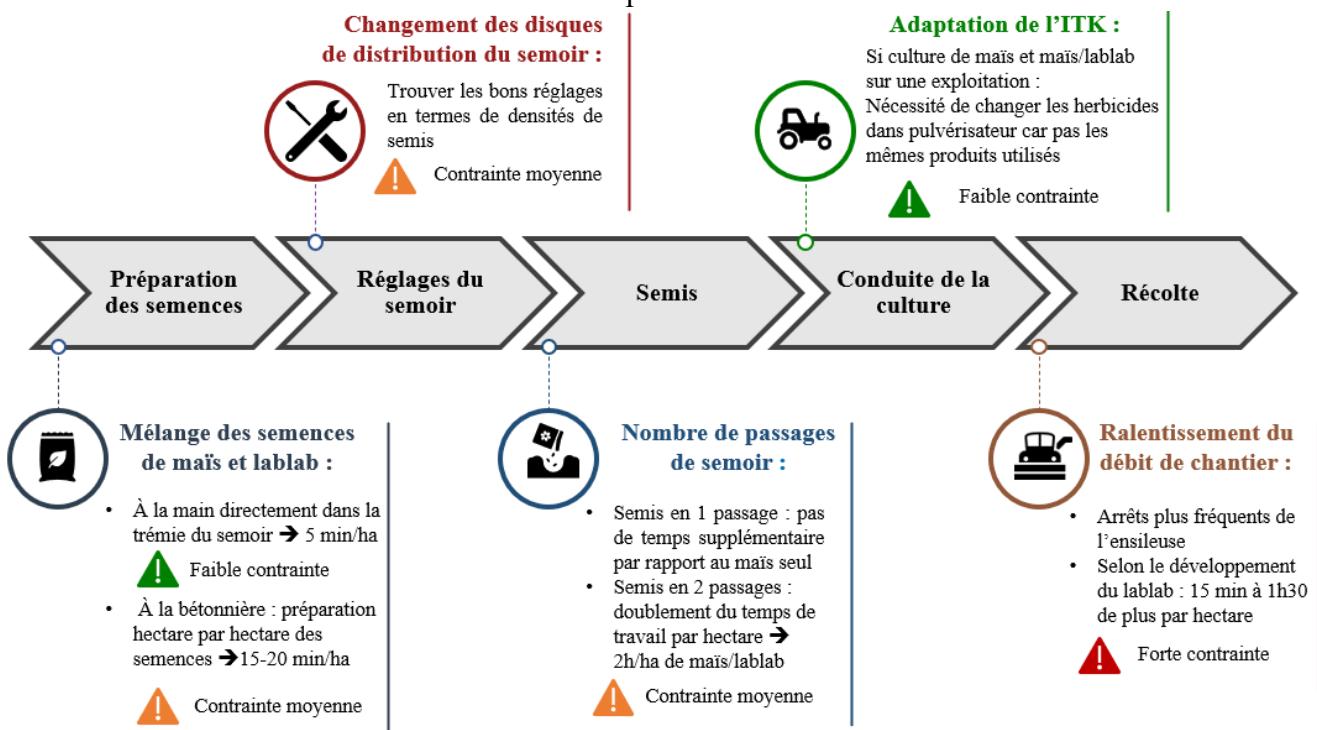
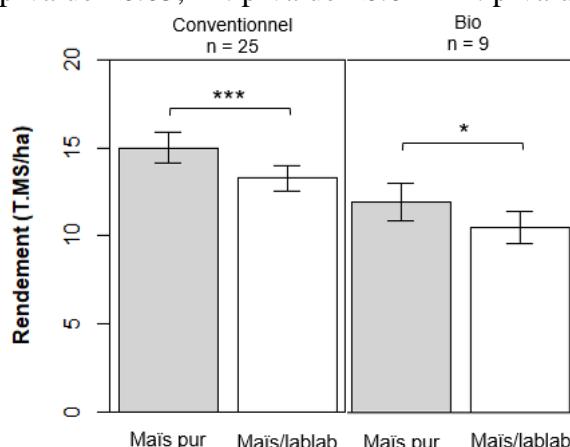


Figure 13 : Comparaison des rendements du maïs/lablab et maïs pur selon le mode de production (barres d'erreurs correspondant à l'erreur standard). Seuils de significativité : NS : non significatif,

\* : p-value <0.05, \*\*: p-value <0.01\*\*\* : p-value<0.001.



#### 5.1.4.2. Impact sur les performances zootechniques

À la suite de l'introduction du fourrage à l'auge, aucun éleveur n'a noté de modification de la productivité des vaches (lait ou viande) et de l'état sanitaire du troupeau. Dans plusieurs exploitations, la faible part de maïs/lablab introduit dans la ration ne permettait pas d'observer un effet significatif sur le troupeau.

Cependant, le lablab a entraîné des variations des taux d'urée du lait dans deux exploitations. Une augmentation du taux d'urée du lait peut avoir différentes origines : (i) un excès de protéines dans l'alimentation et un manque d'énergie fermentescible ou une mauvaise dégradation ruminale, (ii) un manque de glucides fermentescibles comme l'amidon, (iii) un environnement ruminal défavorable aux micro-organismes (FIDOCL Conseil Elevage, 2021). Dans ces situations il a été nécessaire de modifier la stratégie alimentaire en ajustant les parts de protéines et/ou d'énergie dans la ration pour atteindre des taux d'urée stables.

#### 5.1.4.3. Adaptation de la ration des ruminants

Les éleveurs situent l'autonomie protéique de leur exploitation autour de 70%. 97% des exploitations achètent des concentrés protéiques à base de tourteaux (soja, colza), pour une quantité totale moyenne de concentrés achetés de 80 T en conventionnel et 24 T en bio.

L'intégration du maïs/lablab a entraîné une modification de ration dans 32 % des tests. En effet, 8 éleveurs ont réduit leurs achats de concentrés et 2 éleveurs ont à l'inverse augmenté leurs achats du fait de la mauvaise valeur alimentaire du fourrage produit (**Figure 11**). Les valeurs présentées dans la **figure 11** sont des estimations à titre indicatif faites par les éleveurs et leur technicien et sont à considérer à l'échelle de la ration totale. Les valeurs avancées sont à interpréter avec précautions puisque dans certains cas, la réduction de concentrés était due à un changement global de ration comme l'introduction de luzerne et l'utilisation d'additif à base d'urée.

Dans les 15 exploitations restantes, l'intégration du maïs/lablab n'a pas eu d'impact sur la ration du fait du faible volume de fourrage produit et/ou du faible effet sur la valeur de MAT.

#### 5.1.5. Analyse du volet social

La culture de maïs/lablab impacte l'organisation et la charge de travail de l'agriculteur de l'étape du semis à la récolte (**Figure 12**). Si 75 % des éleveurs enquêtés sont satisfaits sur le plan social, 25% le sont moyennement notamment du fait des difficultés rencontrées à la récolte. La préparation des semences et le semis peuvent constituer une forte contrainte dans le cas d'un semis en 2 passages.

### 5.2. Synthèse des expérimentations réalisées par les conseillers agricoles

#### 5.2.1. Performances agronomiques de l'association

Les expérimentations menées par les conseillers correspondent à des essais en grandes bandes comparant les rendements et MAT du maïs/lablab par rapport à une bande témoin de maïs pur. L'enquête en ligne a permis de récolter 10 résultats d'essais sur un total de 34 expérimentations, incluant 25 essais conventionnel 9 essais bio. Des ITKs similaires ont été mis en place pour le maïs et le maïs/lablab à l'exception des densités de semis. Dans ces expérimentations, le lablab représente en moyenne 10.8 % du rendement final en fourrage maïs/lablab mesuré, ce qui est cohérent avec les témoignages des éleveurs situant cette proportion entre 10 et 20% en moyenne.

Les mesures de biomasse aérienne montrent que l'association a tendance à diminuer le rendement en MS par rapport à un maïs pur d'environ 1.5 T.MS/ha (**Figure 13**). Les différences au sein de chaque mode de production sont statistiquement significatives ( $p<0.05$ ). Ainsi, l'introduction du lablab ne permet pas d'augmenter le rendement total en fourrage.

Figure 14 : Comparaison de la MAT du maïs/lablab et maïs pur selon le mode de production (barres d'erreurs correspondant à l'erreur standard). Seuils de significativité : NS : non significatif, \* : p-value <0.05, \*\*: p-value <0.01\*\*\* : p-value<0.001.

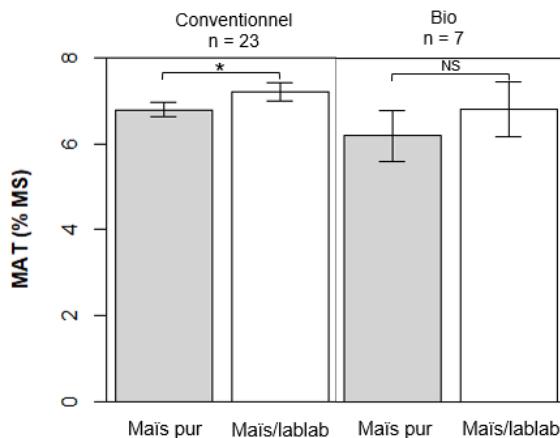


Figure 15 : Comparaison de la quantité de MAT produites par unité de surface de maïs/lablab et maïs seul selon le mode de production dans les expérimentations (barres d'erreurs correspondant à l'erreur standard). Seuils de significativité : NS : non significatif, \* : p-value <0.05, \*\*: p-value <0.01\*\*\* : p-value<0.001.

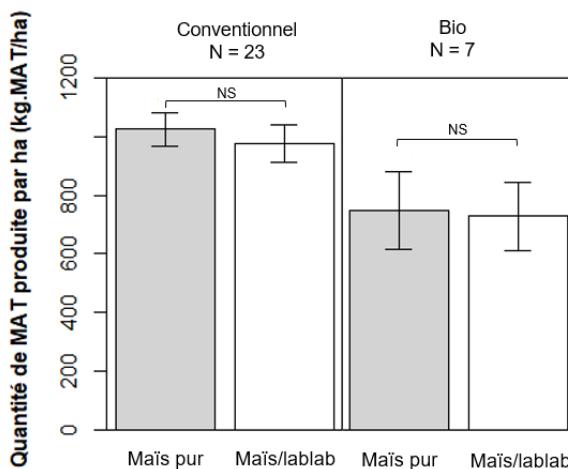
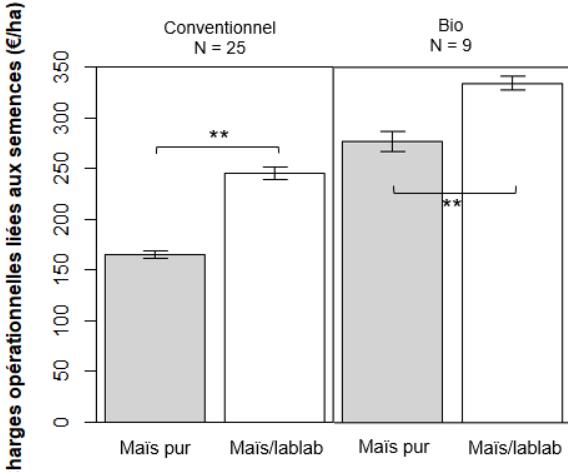


Figure 16 : Comparaison des charges opérationnelles liées aux semences d'une culture de maïs/lablab et maïs selon le mode de production dans les expérimentations (barres d'erreurs correspondant à l'erreur standard). Seuils de significativité : NS : non significatif, \* : p-value <0.05, \*\*: p-value <0.01\*\*\* : p-value<0.001.



Une tendance se dégage néanmoins dans les résultats de rendements. Les pertes de rendements sont plus marquées sur les terres à haut potentiel de rendement en maïs (15 à 20 T.MS/ha) avec des pertes moyennes de 2.5 T.MS/ha par rapport à la culture pure. En terres à faible et moyens potentiels de 5-15 T.MS/ha, les pertes sont moins marquées et s'élèvent en moyenne à 0.7 T.MS/ha. Deux éleveurs enquêtés ont également fait le même constat. Cela rejoint ce qui a été évoqué dans la bibliographie : le rendement en MS du fourrage étant déterminé par la densité de maïs, la diminution du nombre de pieds de maïs semé et la possible compétition entre le lablab et le maïs, pénalise le rendement sans améliorer la MAT.

### 5.2.2. Analyses des valeurs alimentaires

Des analyses infra-rouges du maïs/lablab et de maïs pur ont été réalisées dans 30 expérimentations des conseillers. Ces analyses mettent en évidence une très légère augmentation de la valeur de MAT d'en moyenne 0.5 %, statistiquement significative en conventionnel (**Figure 14**). En effet, les valeurs moyennes de MAT obtenus avec le lablab sont 7.2% en conventionnel et 6.8% en bio et correspondent aux valeurs moyennes de MAT d'un maïs pur.

La **figure 15** présente la quantité de MAT produite par hectare en prenant en compte d'une part le rendement par hectare, et d'autre part la valeur de la MAT. Les tests statistiques montrent que cette quantité de protéines ne diffère pas d'un maïs pur quel que soit le mode de production. Ceci est cohérent avec les variations non significatives de rendements et MAT.

La caractérisation de la qualité de la protéine, par des indicateurs comme les PDI, n'a pu être réalisée du fait du trop faible effectif de résultats d'essais présentant ces indicateurs de valeur alimentaire.

La présence d'un *rhizobium* spécifique au lablab pourrait permettre d'améliorer la valeur alimentaire du fourrage dans le contexte pédoclimatique français. Des premiers tests d'éleveurs montrent que l'utilisation de l'*inoculum* permet d'obtenir une MAT du fourrage entre 10 et 11% sans perte de rendement. Les résultats des essais sans *inoculum* et les premiers exemples en parcelle montrent qu'il est indispensable de travailler sur l'inoculation du lablab.

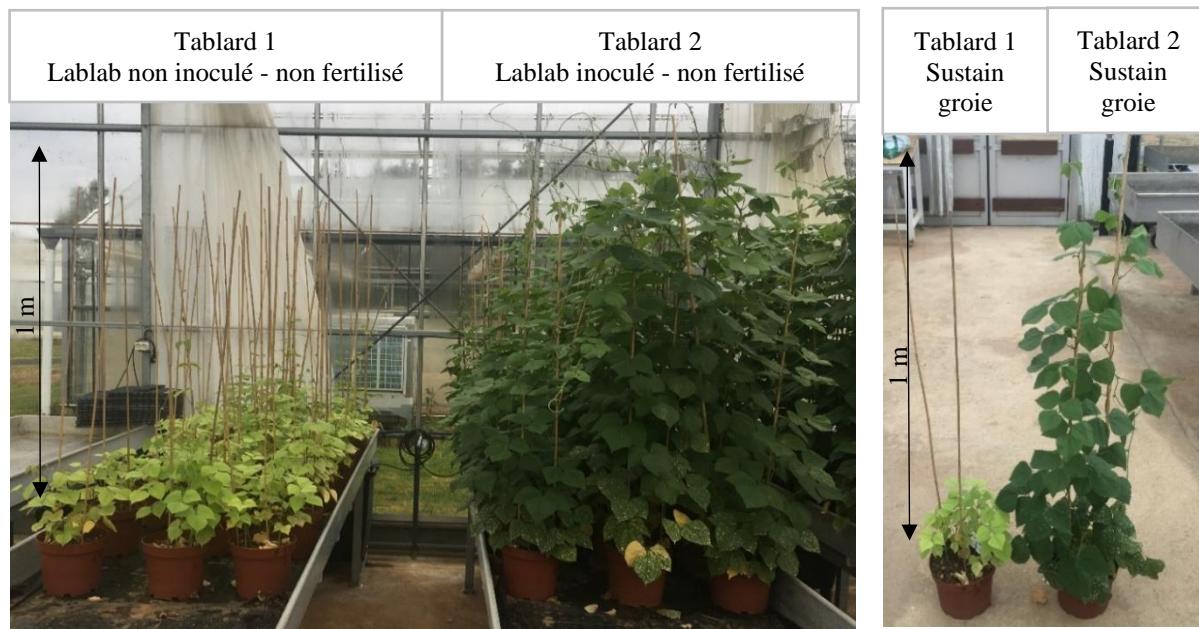
### 5.3. Analyse économique

L'analyse économique de l'association a été réalisée sur les 34 essais expérimentaux. Les ITKs du maïs/lablab et du maïs pur étant égaux par ailleurs, seules les semences supplémentaires, densités de semis et passages de semoir supplémentaires (dans le cas de semis en 2 passages) sont à prendre en compte dans les charges liées à l'association. Les charges opérationnelles liées aux semences sont significativement plus élevées pour une culture de maïs/lablab qu'une culture de maïs quel que soit le mode de production. Ces surcoûts sont liés à l'achat de semences de lablab revenant à en moyenne 86 €/ha pour une densité moyenne de 72 000 grains/ha, et correspondant au prix annoncé par le semencier Semental.

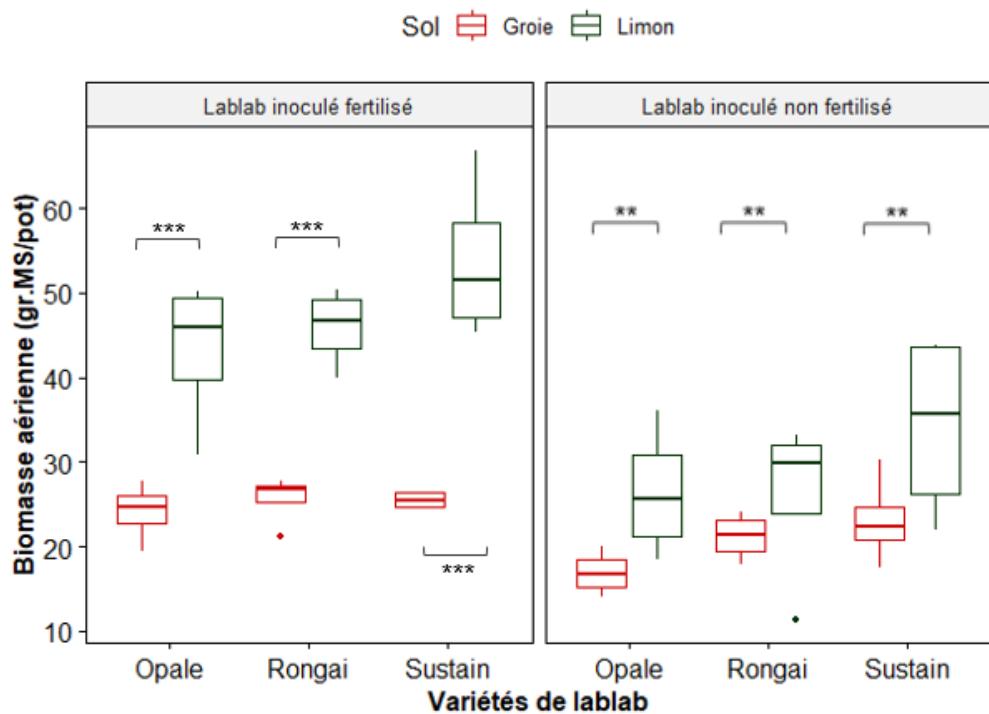
Contrairement aux semences de maïs, il n'existe pas de semences de lablab bio. Le coût des semences de lablab est identique pour les modes de production bio et conventionnel. Cependant, deux prix moyens de semences de maïs (bio et conventionnel) ont été pris en compte. Ceci explique en partie les différences significatives de charges opérationnelles entre les deux modes de production en raison d'un coût plus élevé des semences de maïs bio (**Figure 16**).

Les densités de semis du maïs en association ont été diminuées par rapport au maïs pur. Cette variation de densités diminue de 16€/ha le coût des semences en maïs pour l'échantillon bio et 10€/ha pour l'échantillon conventionnel pour une diminution d'en moyenne 5500 grains/ha. Ainsi, l'association entraîne une augmentation des charges opérationnelles liées aux semences de près de 58 €/ha en bio et 80 €/ha en conventionnel par rapport à la culture pure.

**Figure 17 :** Photographies du lablab non inoculé (Tablard 1) et inoculé (Tablard 2) le 12/07/21 à l'INRAE de Lusignan (Source personnelle)



**Figure 18 :** Biomasse aérienne sèche produite par pot de lablab (gramme MS/pot) en fonction du type de sol, des variétés et de la fertilisation. (Seuils de significativité : NS : non significatif, \* : p-value <0.05, \*\*: p-value <0.01\*\*\* : p-value<0.001.)



Cette différence de surcoût entre les deux modes de production est due aux différences de densités de lablab testées en conventionnel, supérieures à celles testées en bio.

L'étude de la rentabilité de la culture associée a été réalisée par rapport aux variations de rendements. Le calcul des pertes de marge semi-nettes par rapport au maïs pur affiche des valeurs de -238€/ha en conventionnel et -269€/ha en bio. Ce résultat montre qu'en l'absence d'*inoculum*, l'association n'assure pas de gain de rendement pour l'éleveur. Ainsi, les surcoûts liés à l'achat de semences ne sont pas rentabilisés et entraînent une perte significative de marge semi-nette. L'éleveur n'aurait donc pas d'intérêt économique à mettre en place cette association si seul le rendement était pris en compte.

#### 5.4. Synthèse des résultats de l'expérimentation en serre

Après 74 jours de culture sous serre, les plants de lablab ont été dépotés. Les données récoltées ont été traitées statistiquement par des analyses de variance, après vérification des hypothèses sur les résidus. Les pourcentages de levée sont très satisfaisants pour les 3 variétés testées avec une moyenne globale de 90% de levée. L'inoculation du lablab, la fertilisation et le type de sol n'influencent pas la levée du lablab quelle que soit la variété (p-value>0.05).

##### ➤ Effet sur la biomasse aérienne en matière sèche

La différence entre les biomasses aériennes du lablab inoculé et non inoculé est visuellement importante (**Figure 17**). Les plants inoculés ont développé des lianes atteignant jusqu'à 2m30 de hauteur sur les tuteurs, contrairement aux plants non inoculés ayant atteint une hauteur moyenne de 43 cm. L'analyse statistique confirme ces observations puisque l'inoculation augmente significativement le rendement en MS (p-value<0.05). En moyenne, la MS produite est multipliée par 3 grâce à l'*inoculum*, sans fertilisation, variétés et types de sol confondus (**Annexe 4**).

Testée uniquement sur la variété Opale sans *inoculum*, la fertilisation augmente le rendement en MS de 30%. Le gain en rendement permis par la fertilisation est inférieur au gain permis par l'inoculation.

La fertilisation minérale du lablab inoculé augmente significativement le rendement en MS en sol limoneux (p-value<0.05). En effet, le rendement est multiplié par 1.6 entre les modalités « inoculé non fertilisée » et « inoculé et fertilisée », toutes variétés confondues. Néanmoins, la fertilisation permet un gain de rendement plus faible que l'inoculation.

De plus, la biomasse aérienne produite dans les sols limoneux est significativement plus élevée qu'en groie (**Figure 18**). Si cette différence est moins marquée sur le témoin, elle est importante sur la modalité inoculée et fertilisée, avec un rendement en MS 1.9 fois plus élevé en limon qu'en groie.

##### ➤ Effets sur la masse sèche des nodosités du lablab

L'efficacité de l'*inoculum* sur le lablab a été vérifiée puisque des nodosités fonctionnelles ont été observées sur l'ensemble des plants inoculés, majoritairement au niveau du collet des plantes. Le lablab non inoculé n'a pas développé de nodosités dans les sols de groie. Néanmoins, en sol limoneux des nodosités d'environ 5 mm ont été observées sur les racines des plants témoins (**Annexe 5**). L'hypothèse est que la présence d'une souche de *Bradyrhizobium diazoefficiens*, *inoculum* du soja cultivé en 2019 dans la terre de limons, aurait induit la formation de nodosités. Les travaux précédents avaient montré que l'utilisation d'un *inoculum* de soja sur le lablab formait des nodosités non fonctionnelles. L'INRAE vérifiera cette hypothèse en inoculant du lablab avec la souche de soja en milieu de culture inerte afin de conclure définitivement sur son efficacité suite à l'envoi d'un échantillon de nodosité observé sur limon non inoculé.

Figure 19 : Masses sèches des nodosités du lablab en fonction du type de sol, des variétés et de la fertilisation azotée minérale (Seuils de significativité : NS : non significatif, \* : p-value <0.05, \*\*: p-value <0.01, \*\*\* : p-value<0.001)

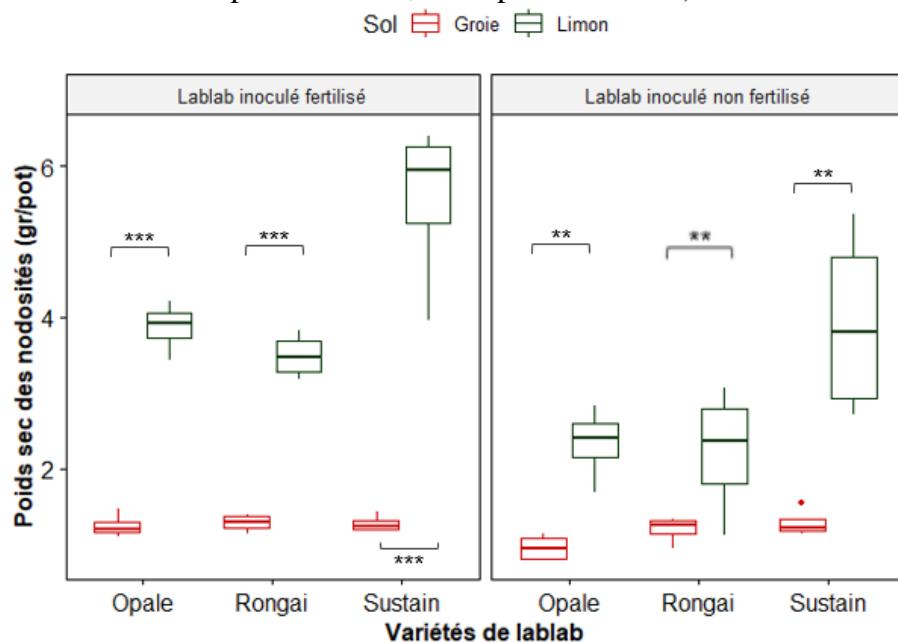


Figure 20 : Gains moyens de rendement en MS de lablab permis grâce à l'inoculation et la fertilisation sur la variété Opale selon le type de sol en 688 °j cumulés. Les effectifs de chaque barre sont indiqués par le n (barres d'erreurs correspondant à l'erreur standard).

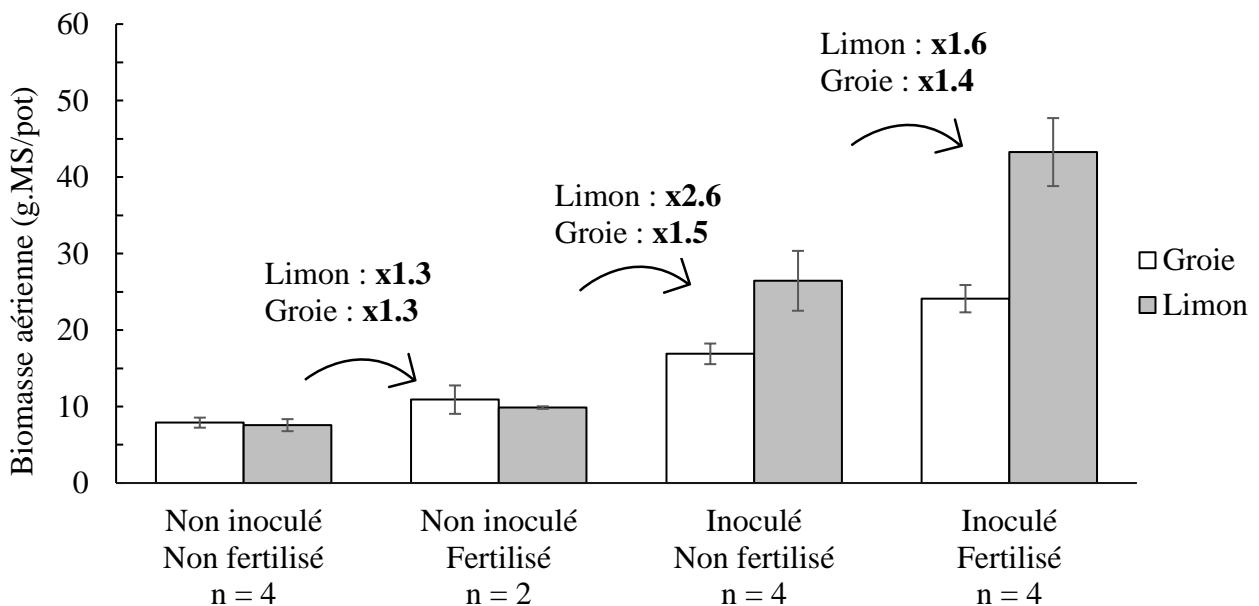


Tableau 11 : Analyse chimique de la MAT des parties aériennes et racinaires du lablab en sol limoneux

Variété	Sustain	Sustain	Sustain	Opale	Rongaï	Sustain	Sustain
Partie analysée	Aérienne	Aérienne	Aérienne	Aérienne	Aérienne	Racinaire	Racinaire
Inoculation	non	oui	oui	oui	oui	non	oui
Fertilisation	non	non	oui	non	non	non	non
MAT % MS	7.71	16.04	20.49	16.14	16.89	11.86	24.9

Tout comme le rendement en MS, les masses sèches des nodosités sont significativement plus élevées en sol limoneux qu'en groie (**Figure 19**). Nous émettons d'abord l'hypothèse que le pH du sol influence le développement du lablab. Le pH élevé des sols de groie (autour de 7.5-8) se situe dans la limite haute des conditions optimales de développement du lablab (**Partie 3.1**), ce qui pourrait assurer une moins bonne croissance qu'en sol limoneux. La présence de deux *inocula* dans le sol limoneux (soja et lablab) pourrait également justifier ces différences entre types de sol puisque chaque *inoculum* formerait des nodosités. De plus, en situations inoculées, il y a significativement plus de biomasse racinaire produite en sol limoneux qu'en groie. La disponibilité en phosphore est plus importante en limon ce qui pourrait expliquer une croissance du système racinaire plus importante et donc plus de formations de nodosités.

Les différences de résultats entre types de sol peuvent s'expliquer par des reliquats azotés plus importants en sol limoneux (78 kg/ha) qu'en groie (48 kg/ha). Les résultats observés sont surprenants puisque la moindre disponibilité de l'azote en sol de groie devrait activer la formation de nodosités. En effet, dans la littérature, il est rapporté que l'azote minéral inhibe la nodulation des plantes. Lorsque l'azote du sol est non limitant, la légumineuse absorbe préférentiellement l'azote minéral disponible dans le sol. Le nombre de nodosités formées est proportionnel aux besoins en azote nécessaire à la croissance de la plante et est plus important lorsque la quantité d'azote dans le sol est limitante (Agro-transfert, 2016).

Or dans cet essai, l'apport d'azote stimule la nodulation. En effet, la fertilisation augmente la masse de nodosités en limons (par leur nombre ou par leur taille). Nous concluons que la fertilisation azotée n'inhibe pas la formation de nodosités sur les deux types de sol. Cependant, la masse sèche des nodosités en limons avec fertilisation est en moyenne 1.5 fois plus élevée qu'en l'absence de fertilisation. L'hypothèse est que l'apport d'azote au semis a permis un meilleur développement de la plante et de son système racinaire en sol limoneux, tel un effet « starter » de l'azote. Ceci permettrait dans un deuxième temps une meilleure nodulation lorsque l'azote minéral est partiellement utilisé par la plante et n'est plus en quantité suffisante pour inhiber la nodulation. En effet, en sol limoneux nous observons que la biomasse racinaire est globalement multipliée par 1.6 entre les modalités « inoculé et non fertilisé » et « inoculé et fertilisé » (**Annexe 6**). Cet effet est observé sur les variétés Rongaï et Opale mais pas sur Sustain.

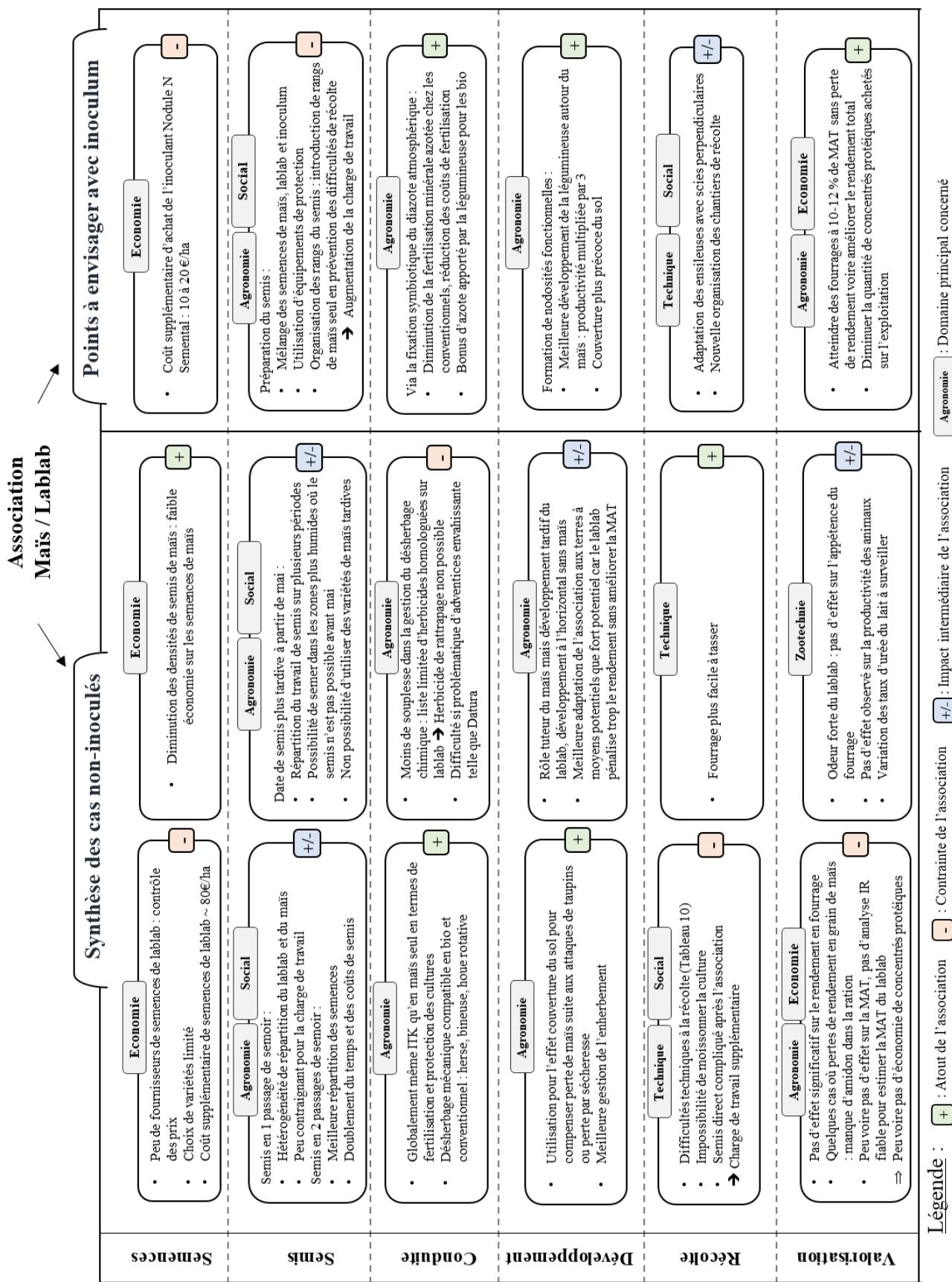
En sol limoneux, la fixation biologique de l'azote atmosphérique est donc sous-optimale puisque l'apport d'azote minéral améliore toujours la biomasse aérienne des plantes. L'efficacité de la souche testée n'est donc pas maximale dans ce type de sol. Les gains permis par l'inoculation et la fertilisation sont illustrés dans la **figure 20**.

L'augmentation des biomasses aériennes et racinaires avec l'inoculation de Sustain s'accompagne d'un enrichissement en azote de la plante, similaire pour toutes les variétés (**Tableau 11**). L'inoculation permet de doubler la MAT des parties aériennes et racinaires. La fertilisation permet encore d'augmenter la teneur en azote des parties aériennes de 27% avec *inoculum*.

### 5.5. Synthèse des résultats : clés de réussites/échecs de l'association maïs/lablab

La synthèse des données d'enquête auprès des éleveurs, conseillers et de l'expérimentation sous serre permet de pointer les atouts, difficultés et points de vigilance à prendre en compte dans la suite des travaux du projet Tropi'Cow (**Figure 21, page 22**). Face aux résultats mitigés de l'association entre 2018 et 2020, 50 % des éleveurs de l'enquête ne souhaitent pas tester de nouveau cette culture sans inoculer le lablab. Ce pourcentage est réduit à 15% dans le cas où un *inoculum* est commercialisé. Les premières références de rendements et de MAT du lablab produites dans l'expérimentation en serre sont encourageantes pour l'implantation de l'association en France.

Figure 21 : Schéma bilan des informations récoltées lors du travail du traque à l'innovation et de l'expérimentation sur l'association maïs/lablab



## 6. Discussion

### 6.1. Discussion des résultats

Après 3 années de tests sans *inoculum*, les résultats de l'association sont en deçà des valeurs espérées en rendements et MAT. L'association maïs/lablab ne permet pas d'augmenter le rendement total en fourrage par rapport à un maïs pur, ce qui rejoint les résultats des études menées au Wisconsin avec *inoculum* sous climat continental (Armstrong et Albrecht, 2008). Les gains de MAT sont très faibles, ce qui confirme également les conclusions du travail mené en 2019. Ainsi, si l'engouement pour l'association était marqué après une année de test en 2018, il l'est beaucoup moins aujourd'hui et l'efficacité de l'*inoculum* définira le succès de cette culture en France.

Les valeurs de MAT présentées dans ce rapport ont été mesurées par analyse infra-rouge. Bien que couramment utilisée et moins coûteuse pour les agriculteurs, cette analyse n'indique qu'une valeur « grossière » de la composition protéique du fourrage. Les divers indicateurs de valeur alimentaire permettant de caractériser la MAT du maïs/lablab sont aujourd'hui calculés avec les équations de prévision du maïs ensilage pur. Les analyses du lablab pur, quant-à-elles, se basent sur des équations « légumineuse » non spécifique à la plante tropicale. L'un des objectifs du projet Tropi'Cow est de construire conjointement avec Arvalis une méthode d'analyse fiable, reposant sur des premières équations adaptées au lablab, pour évaluer de manière exacte la valeur alimentaire de l'ensilage.

De plus, nous ne disposons pas d'informations sur les conditions de prélèvement des échantillons analysés, notamment si le prélèvement a été réalisé au champ le jour de l'ensilage ou au silo après plusieurs jours de conservation. Ce manque d'homogénéité dans les méthodes de prélèvements peut impacter les valeurs de MAT et les valeurs alimentaires qui en découlent. Les différences entre témoin et maïs associé sont en théorie peu affectées par ces conditions de prélèvement, similaires pour les deux modalités d'un même test.

Les informations récoltées sur le semis sont cohérentes avec les recommandations des semenciers. En effet, il est nécessaire de décaler la date de semis au mois de mai (voire juin) afin d'atteindre des sommes de températures journalières suffisamment élevées pour assurer le développement rapide du lablab et limiter les risques liés à un gel prolongé. En raison de la date de semis plus tardive de l'association par rapport au maïs pur, il est conseillé d'utiliser des variétés de maïs précoce avec des cycles de développement plus courts et présentant des besoins en degrés-jours moins importants pour atteindre la maturité du grain à la récolte.

L'étude des changements de ration réalisés chez les éleveurs ne permet pas d'estimer quantitativement ces effets puisque ceci requiert d'étudier le système de l'exploitation dans son ensemble, ce qui aurait été trop long dans le cadre de ce travail. Cependant, les estimations chiffrées données par les éleveurs donnent une première idée des valeurs possiblement attendues dans les essais zootechniques à venir.

Les premiers tests en serre de l'*inoculum* affichent des résultats prometteurs pour l'association. Des incertitudes persistent sur les causes de l'effet de la fertilisation sur la nodulation et notamment sur le comportement de la plante en sol limoneux. Il n'est pas facile de prédire le comportement des plantes et de l'*inoculum* au champ par rapport à ces résultats en serre en ce qui concerne l'effet de l'apport d'azote. La masse sèche de nodosités ne permet pas de distinguer les nodosités fonctionnelles et non fonctionnelles. Nous avons observé des différences de couleurs entre nodosités qui pourraient traduire des différences de pouvoir fixateur de l'azote. Il faudrait parvenir à estimer ce pouvoir fixateur du lablab. Les résultats avancés par cette expérimentation sont à prendre avec précaution puisqu'ils ont été réalisés en conditions semi-contrôlées, le comportement du lablab peut être différent au champ.

Tableau 12 : Propositions de facteurs à expertiser lors des essais en bandes 2022 entre le semis et la récolte

	Facteurs étudiés	Facteurs mesurés
Semis	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Type de sol</li> <li>- Choix des idéotypes : Variétés de lablab : Rongaï, Sustain, Opale, Highworth</li> <li>- Variétés de maïs à différentes précocités</li> <li>- Inoculation : sans <i>inoculum</i>, <i>inoculum</i> Semental, <i>inoculum</i> expérimental de l'INRAE Dijon</li> <li>- Densités de semis du mélange</li> <li>- Profondeur de semis</li> <li>- Date de semis plus ou moins tardive</li> <li>- Décalage entre le semis du lablab et du maïs</li> <li>- Mode de semis : nombre de passage de semoir, sur le rang/inter-rang</li> <li>- Organisation des rangs du semis : alternance rangs de maïs/rangs associés</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nombre de jours entre semis et levée</li> <li>- Pourcentage de levée</li> <li>- Temps de préparation des semences, temps de semis</li> </ul>
Conduite de la culture	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Doses et types d'apports de fertilisation minérale et organique : avec ou sans fertilisation starter, azote seul, phosphore seul, NP (100 kg de 18-46)</li> <li>- Outils de désherbage mécanique</li> <li>- Sélectivité des herbicides</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Couverture du sol</li> <li>- Vitesse de développement</li> <li>- Identification et comptage adventices/maladie/ravageurs</li> <li>- Comptage/masse/taille des nodosités</li> <li>- Analyse de reliquats azotés</li> <li>- Analyse chimique des feuilles de lablab à différents stades</li> <li>- Pourcentage de perte à la suite des passages d'outils de désherbage mécanique</li> <li>- Agressivité des outils désherbage</li> <li>- Stade physiologique en fonction des °j</li> </ul>
Récolte	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Adaptations techniques de l'ensileuse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temps de récolte</li> <li>- Pourcentage de lablab dans le fourrage à la récolte</li> <li>- Rendements MS en biomasse aérienne de maïs, de lablab et totale</li> <li>- Rendements en grain de maïs</li> <li>- Rendement MS en biomasse racinaire</li> <li>- Analyse chimique de fourrage finale le jour de la récolte/après mise en silo</li> </ul>

## 6.2.Discussion de la méthode

Le travail réalisé auprès des éleveurs a essentiellement permis de récolter des informations de nature qualitative. En effet, les éleveurs ont estimé de manière approximative les rendements et n'ont pas systématiquement réalisé des analyses de fourrage. De plus, 35% des tests de maïs/lablab ont été réalisés sans maïs témoin, auxquels s'ajoutent les tests où le maïs témoin a été cultivé sur une parcelle au potentiel de rendement différent de celui des parcelles de maïs/lablab. Ainsi, l'analyse des indicateurs agronomiques (rendement et MAT) et l'analyse économique associée ont pu être réalisé seulement sur les expérimentations des conseillers.

L'étude de la rentabilité de l'association a pris en compte les charges et les variations de rendements et non les variations de MAT. Calculer la rentabilité en tenant compte à la fois du rendement et de la valeur protéique du fourrage implique de considérer également la composante « qualité de la protéine ». Ainsi, la rentabilité de l'association présentée dans ce rapport ne reflète pas la rentabilité réelle de la culture puisque la quantité et la qualité de la protéine produite ne sont pas prises en compte. Il serait également nécessaire de considérer les effets sur la composition de la ration, les achats de concentrés associées et les résultats économiques en termes de productivité des animaux.

La taille limitée de l'échantillon n'a pas permis de mettre en évidence des relations linéaires entre les facteurs techniques (fertilisation, irrigation, densités de semis) sur le rendement et la MAT. Il aurait été intéressant de comparer les résultats agronomiques entre les deux modes de production en étudiant notamment l'impact des différents types et doses d'apports de fertilisation azotée sur les indicateurs agronomiques. La différence des effectifs entre échantillons bio et conventionnel a restreint l'analyse.

## 6.3. Perspectives

Le travail réalisé permettra d'alimenter des travaux de réflexion lors d'ateliers de co-conception. La capitalisation des références produites par les éleveurs a permis d'identifier des points à expertiser dans les prochains essais analytiques et tests en bandes de 2022 (**Tableau 12**). Face aux difficultés rencontrées par les éleveurs, il s'agit de tester différentes modalités techniques répondant à leurs besoins et ainsi produire les premières références au champ avec *inoculum* en France.

De plus, les deux semenciers commercialisent depuis 2021 des *inocula* spécifiques au lablab. Dans le cadre du projet, l'INRAE de Dijon isole, identifie et multiplie, en faible quantité, un *rhizobium* issu d'extraits de nodosités de la Réunion où la culture de lablab est répandue pour la production de graines. L'objectif est d'isoler la souche de *rhizobia* réunionnaise et de tester son efficience sur les variétés de lablab cultivées en France sur leur capacité de nodulation. Si ces tests s'avèrent positifs, la production d'un *inoculum* expérimental sera réalisée en vue des futurs tests au champ.

Aujourd'hui, le lablab est souvent cultivé à petite échelle pour la production de graines dans les zones où la saison sèche est marquée notamment en Inde et en Afrique (Rivals, 1953). Des graines sont également produites dans le sud des Etats-Unis et en Australie. La production de graines de lablab est plus rare sous les climats océanique et méditerranéen, mais existe notamment au Portugal où des semences de Rongaï, Highworth et variétés locales sont produites. Ainsi, à ce jour il n'existe pas de producteur de semences de lablab en France métropolitaine. Les variétés utilisées sont des variétés de jours courts à floraison tardive importées d'Australie. Leurs exigences en termes de photopériode nécessaire pour initier la floraison ne leur permettent de fleurir avant l'arrivée des premiers gels d'automne. Si l'association est amenée à se développer en France sur plusieurs centaines d'hectares grâce à un *inoculum*, il serait intéressant d'envisager la production de semences de lablab avec des variétés plus précoce. La mise en place d'une filière semences de lablab permettrait de réduire : les coûts de commercialisation des semences, les charges liées à l'implantation de l'association et l'empreinte carbone de la culture en limitant l'importation.



## 6. Conclusion

Face à des conditions climatiques et des rendements de plus en plus variables, la culture du maïs se complique dans certaines zones géographiques. De plus, la dépendance des élevages bovins aux concentrés protéiques importés motive les éleveurs à relocaliser la production de protéines sur leur exploitation. Améliorer la valeur protéique de l'ensilage de maïs est possible grâce à l'association de légumineuses tropicales comme le lablab.

En France métropolitaine, le potentiel d'association du lablab au maïs est prometteur mais non concluant en absence d'*inoculum* fonctionnel. Les résultats agronomiques présentés sont décevants par rapport aux performances de la culture en milieu tropical. L'absence de gain de rendement et de MAT, l'effet peu marqué sur les adventices et la non-diminution des fertilisants de synthèse et herbicides montrent que l'intérêt de l'association est limité. Les performances zootechniques du troupeau ne sont pas améliorées et la rentabilité de l'association est négative. Ceci s'explique principalement par l'absence de *rhizobia* spécifiques, des charges de semences plus élevées et un manque de recul des éleveurs sur les ajustements techniques à opérer.

Ce travail a permis d'enrichir la base de connaissances peu pourvue sur l'association maïs/lablab en France métropolitaine. Bien qu'elles concernent des situations sans *inoculum*, les informations récoltées permettent d'identifier et d'anticiper les ajustements techniques à envisager avec *inoculum*. Il est probable que les difficultés rencontrées avec l'association avec *inoculum* soient plus marquées dans le cas d'un développement plus important de la légumineuse, notamment lors de la récolte. Si la conduite de la culture est globalement similaire à celle d'un maïs pur, un travail d'expertise doit être mené pour améliorer les phases de semis et de récolte. Optimiser la conduite technique de la culture permettra d'augmenter les gains agronomiques, économiques zootechniques et environnementaux.

L'expérimentation en serre a montré que l'inoculation permet au lablab d'exprimer son potentiel en termes de développement aérien et racinaire, et teneur en protéines. Les gains y sont plus importants en sols limoneux qu'en sol de groie. Ces résultats, ainsi que les retours positifs des éleveurs ayant testé l'*inoculum* au champ, justifient l'intérêt de travailler sur son efficacité en France.

Bien que ces premiers résultats soient encourageants, il est toujours possible que la plante tropicale ne parvienne pas à exprimer son potentiel dans les différents contextes climatiques français. Il est difficile de prédire son comportement au champ à partir des résultats présentés dans ce rapport obtenus en climat semi-contrôlé.

L'efficacité de l'*inoculum* au champ déterminera la diffusion de cette nouvelle culture innovante auprès des éleveurs intéressés. Elle pourra également ouvrir de nouvelles opportunités pour cultiver le lablab en couvert pâturé ou engrais vert grâce à son pouvoir de fixation du diazote. Ce succès reposera également sur l'homogénéisation des méthodes de calculs des valeurs alimentaires.

L'implication des éleveurs dans l'ensemble des étapes du projet permet de garder un lien constant avec les problématiques de terrain mais aussi d'identifier de nouvelles innovations techniques autour de l'association maïs/lablab, qui restent à développer.



## Bibliographie

- AGRESTE, 2019. *Agriculture biologique en France* [en ligne]. 2019. S.I. : s.n. [Consulté le 1 juillet 2021]. Disponible à l'adresse : <https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/download/publication/publie/GraFra2020Chap9.3/Graf2035%20%20Agriculture%20biologique.pdf>.
- AMODU, J., ADEYINKA, Isaac et LAKPINI, Clarence, 2004. Response of lablab varieties to farmyard manure in the northern Guinea Savanna of Nigeria. In : 1 septembre 2004. Vol. 38.
- ARMSTRONG, Kevin et ALBRECHT, Kenneth, 2008. Effect of Plant Density on Forage Yield and Quality of Intercropped Corn and Lablab Bean. In : *Crop Science - CROP SCI.* 1 mars 2008. Vol. 48. DOI [10.2135/cropsci2007.08.0487](https://doi.org/10.2135/cropsci2007.08.0487).
- ARMSTRONG, Kevin, ALBRECHT, Kenneth, LAUER, Joseph et RIDAY, Heathcliffe, 2008. Intercropping Corn with Lablab Bean, Velvet Bean, and Scarlet Runner Bean for Forage. In : *Crop Science.* 1 janvier 2008. Vol. 48. DOI [10.2135/cropsci2007.04.0244](https://doi.org/10.2135/cropsci2007.04.0244).
- BIRTEEB, Peter, ADDAH, W, NAANDAM, Jakper et ADDO-KWAFO, A, 2011. Effects of intercropping cereal-legume on biomass and grain yield in the savannah zone. In : *Livestock Research for Rural Development.* 1 septembre 2011. Vol. 23.
- BRUNSCHWIG, Phillip, DEVUN, Jean, GUINOT, Caroline, BALLOT, Nadine, BÈCHE, Jean-Marc et LE DOARÉ, Cécile, 2012. L'autonomie alimentaire des troupeaux bovins en France : état des lieux et perspectives. 2 octobre 2012. pp. 2.
- CONTRERAS, Francisco, CENTER, Agricultural, ARTESIA, LAURIAULT, Leonard, PROFESSOR, College, TUCUMCARI, MARSALIS, Mark, ANGADI, Sangu, PUPPALA, Naveen, PROFESSOR, College, CLOVIS, et NM, 2009. Performance of Forage Sorghum-LegumeMixtures in Southern High Plains, USA. In : *Forage and Grazinglands.* 1 avril 2009. DOI [10.1094/FG-2009-0401-01-RS](https://doi.org/10.1094/FG-2009-0401-01-RS).
- CONTRERAS-GOVEA, F. E., MUCK, R. E., ARMSTRONG, K. L. et ALBRECHT, K. A., 2009. Nutritive value of corn silage in mixture with climbing beans. In : *Animal Feed Science and Technology.* 30 mars 2009. Vol. 150, n° 1, pp. 1-8. DOI [10.1016/j.anifeedsci.2008.07.001](https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2008.07.001).
- CONTRERAS-GOVEA, Francisco E., MUCK, Richard E., ARMSTRONG, Kevin L. et ALBRECHT, Kenneth A., 2009. Fermentability of corn-lablab bean mixtures from different planting densities. In : *Animal Feed Science and Technology.* 16 mars 2009. Vol. 149, n° 3, pp. 298-306. DOI [10.1016/j.anifeedsci.2008.05.009](https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2008.05.009).
- CONTRERAS-GOVEA, Francisco E., SOTO-NAVARRO, Sergio, CALDERON-MENDOZA, David, MARSALIS, Mark A. et LAURIAULT, Leonard M., 2011. Dry Matter Yield and Nutritive Value of Cowpea and Lablab in the Southern High Plains of the USA. In : *Forage & Grazinglands.* 2011. Vol. 9, n° 1, pp. 1-6. DOI <https://doi.org/10.1094/FG-2011-0819-02-RS>.
- GBARANEH, L D, IKPE, F N, LARBI, A, WAHUA, T A T et TORUNANA, Jma, 2005. The Influence Of Lablab (*Lablab purpureus*) On Grain And Fodder Yield Of Maize (*Zea mays*) In A Humid Forest Region Of Nigeria. In : *Journal of Applied Sciences and Environmental Management* [en ligne]. 15 septembre 2005. Vol. 8, n° 2. [Consulté le 27 avril 2021]. DOI [10.4314/jasem.v8i2.17239](https://doi.org/10.4314/jasem.v8i2.17239). Disponible à l'adresse : <http://www.ajol.info/index.php/jasem/article/view/17239>.
- GEREN, Hakan, AVCIOGLU, Riza, SOYA, Hikmet et KIR, Behçet, 2008. Intercropping of corn with cowpea and bean: Biomass yield and silage quality. In : *African Journal of Biotechnology.* 19 décembre 2008. Vol. 7, pp. 4100-4104.
- HASSAN, M. R., AMODU, J. T., MUHAMMAD, I. R., JOKTHAN, G. E., ABDU, S. B., ABDULLAHI, B., ADAMU, H. Y., MUSA, A., SANI, I. et AKPENSUEN, T. T., 2014. Forage Yield and Quality of Lablab (*Lablab purpureus* L. Sweet) Intercropped With Maize (*Zea mays* L.) With Flooded Irrigation System in the Semi-Arid Zone of Nigeria. In : *Journal of Agricultural Science.* 15 octobre 2014. Vol. 6, n° 11, pp. p196. DOI [10.5539/jas.v6n11p196](https://doi.org/10.5539/jas.v6n11p196).
- HASSEN, Abubeker et RETHMAN, N.F.G., 2006. Effect of Lablab purpurius and Vicia atropurpuria as an intercrop, or in a crop rotation, on grain and forage yield of maize. In : *Tropical Grasslands.* 1 janvier 2006. Vol. 40, pp. 111-118.
- MOQUET, Michel et CHAUVEAU, Huques, 2020. Bilan campagne maïs fourrage 2020. 2020. pp. 10.
- MPAIRWE, D R, SABIITI, E N, UMMUNA, N N, TEGEGNE, A et OSUJI, P, 2002. Effect of intercropping cereal crops with forage legumes and source of nutrients on cereal grain yield and fodder dry matter yields. In : *African Crop Science Journal* [en ligne]. 1 janvier 2002. Vol. 10, n° 1. [Consulté le 28 avril 2021]. DOI [10.4314/acsj.v10i1.27559](https://doi.org/10.4314/acsj.v10i1.27559). Disponible à l'adresse : <http://www.ajol.info/index.php/acsj/article/view/27559>.
- MTHEMBU, Bonginkosi E., EVERSON, Terry M. et EVERSON, Colin S., 2018. Intercropping maize (*Zea mays* L.) with lablab (*Lablab purpureus* L.) for sustainable fodder production and quality in smallholder rural farming systems in South Africa. In : *Agroecology and Sustainable Food Systems.* 21 avril 2018. Vol. 42, n° 4, pp. 362-382. DOI [10.1080/21683565.2017.1393649](https://doi.org/10.1080/21683565.2017.1393649).
- MURPHY, A.M., COLUCCI, P.E. et PADILLA, M.R., 1999. Analysis of the growth and nutritional characteristics of Lablab purpureus. In : *Livestock Research for Rural Development.* 1 octobre 1999. Vol. 11, pp. 25-40.
- HUSSON, O., CHARPENTIER, H., RAZANAMPARANY, C., MOUSSA, N., MICHELON, R., NAUDIN, K., RAZAFINTSALAMA, H., RAKOTOARINIVO, C., RAKOTONDRAMANANA, R., FRANK, Enjalric et SEGUY, Lucien, 2010. Maïs ou sorgho associé à une légumineuse alimenterie volubile (Dolique, Niébé ou Vigna umbellata). S.I. : s.n. pp. 367-386. ISBN 978-2-87614-689-1.
- QU, Yongli, JIANG, Wei, YIN, Guoan, WEI, Chunbo et BAO, 2013. Effects of Feeding Corn-lablab Bean Mixture Silages on Nutrient Apparent Digestibility and Performance of Dairy Cows. In : *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences.* 1 avril 2013. Vol. 26, n° 4, pp. 509-516. DOI [10.5713/ajas.2012.12531](https://doi.org/10.5713/ajas.2012.12531).
- REDAE, Meseret et TEKLE, Desta, 2020. Effect of Intercropping Dates of Lablab (*Lablab purpureus* L.) with Maize (*Zea mays* L.) on Forage and Maize Grain Yields. In : *Asian Journal of Advanced Research and Reports.* 10 août 2020. pp. 1-4. DOI [10.9734/ajarr/2020/v13i230302](https://doi.org/10.9734/ajarr/2020/v13i230302).
- RIVALS, Pierre, 1953. Le Dolique d'Egypte ou Lablab (*Dolichos Lablab* L.). In : *Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée.* 1953. Vol. 33, n° 369, pp. 314-322. DOI [10.3406/jatba.1953.6606](https://doi.org/10.3406/jatba.1953.6606).
- TITTERTON, M. et MAASDORP, B. V., 1997. Nutritional improvement of maize silage for dairy: mixed crop silages from sole and intercropped legumes and a long season variety of maize. 2. Ensilage. In : *Animal Feed Science and Technology.* 1 novembre 1997. Vol. 69, n° 1, pp. 263-270. DOI [10.1016/S0377-8401\(97\)81640-9](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(97)81640-9).
- VALENZUELA, Hector et SMITH, Jody, 2002. Lablab (Green Manure Crops). 2002.
- WINSLOW, Terry, 2013. Comprendre les analyses de fourrages. 2013. pp. 20.



## Sitographie

- AGRO-TRANSFERT, 2016. *Les légumineuses pour apporter de l'azote dans la rotation* [en ligne]. 2016. S.I. : s.n. [Consulté le 20 juillet 2021]. Disponible à l'adresse : <http://www.agro-transfert-rt.org/wp-content/uploads/2017/01/Fiche-I%C3%A9C3%A9gumineuses.pdf>.
- AMOLE, T.A., ODUGUWA, B.O., JOLAOSHO, A.O., ARIGBEDE, M.O., OLANITE, J.A., DELE, P.A. et OJO, V.O.A., 2013. Nutrient composition and forage yield, nutritive quality of silage produced from maize-lablab mixture. *Malaysian J. Anim. Sci.*, 16 (2): 45-61. In : *Malaysian Society of Animal Production* [en ligne]. 2013. [Consulté le 26 avril 2021]. Disponible à l'adresse : [http://www.msap.my/mjas16-2/6\(NUTRIENT-Amole\\_45-61\)-rev4.pdf](http://www.msap.my/mjas16-2/6(NUTRIENT-Amole_45-61)-rev4.pdf).
- ARVALIS, 2021. Evaluer le rendement en maïs fourrage. In : [en ligne]. 2021. [Consulté le 4 août 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.arvalis-infos.fr/estimation-du-rendement-realiser-un-diagnostic-au-champ-@/view-19477-arvarticle.html>.
- CHAMBRES D'AGRICULTURE DE BRETAGNE, 2020. Le projet SOS Protéin - Chambres d'Agriculture de Bretagne. In : [en ligne]. 2020. [Consulté le 4 mai 2021]. Disponible à l'adresse : <http://www.chambres-agriculture-bretagne.fr/synagri/le-projet-sos-protein>.
- COOK, B., PENGELLY, Bruce C., BROWN, S. D., DONNELLY, J., EAGLES, D. A., FRANCO, M. A., HANSON, J., MULLEN, B. F., PARTRIDGE, I. J., PETERS, M. et SCHULTZE-KRAFT, R., 2005. Tropical Forages is a tool for selecting forage species suitable for local conditions in the tropics and subtropics. - Brisbane - Australia. In : *Feedipedia* [en ligne]. 2005. [Consulté le 23 avril 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.feedipedia.org/node/1689>.
- DEKALB, 2017. Principales Caractéristiques Nutritionnelles du Maïs Ensilage. In : [en ligne]. 2017. [Consulté le 11 mai 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.dekalb.fr/mais-ensilage/principales-caracteristiques-nutritionnelles-du-mais-ensilage>.
- FIDOCL CONSEIL ELEVAGE, 2021. L'urée du lait : un indicateur du rationnement. | FIDOCL Conseil Elevage. In : [en ligne]. 2021. [Consulté le 8 juillet 2021]. Disponible à l'adresse : <http://www.fidocl.fr/content/luree-du-lait-un-indicateur-du-rationnement>.
- J HOUCK, Morris, 2013. *Lablab (Lablab purpureus) for Conservation Use in Louisiana* [en ligne]. 2013. S.I. : USDA-NRCS, Cape May Plant Materials Center, Cape May, New Jersey. [Consulté le 12 mars 2021]. Disponible à l'adresse : [https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_PLANTMATERIALS/publications/lapmctn11899.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_PLANTMATERIALS/publications/lapmctn11899.pdf).
- LAURENT, Bernard, 2021. Quelle filière consomme quoi ? In : *Journal Paysan Breton* [en ligne]. 2021. [Consulté le 4 mai 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.paysan-breton.fr/2021/02/quelle-filiere-consomme-quoi/>.
- MINETTE, Sébastien, 2020. Tropi'Cow – RAIN. In : [en ligne]. 2020. [Consulté le 29 avril 2021]. Disponible à l'adresse : <https://rain-innovation.fr/projets/tropicow/>.
- MINISTÈRE DE L'ECONOMIE DES FINANCES ET DE LA RELANCE, 2021. Stratégie nationale sur les protéines végétales. In : [en ligne]. 27 mai 2021. [Consulté le 4 mai 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.economie.gouv.fr/plan-de-relance/profils/entreprises/strategie-nationale--proteines-vegetales>.
- MULLEN, Collin, 2017. Summer legume forage crops: cowpeas, lablab, soybeans. In : [en ligne]. 2017. [Consulté le 23 avril 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.dpi.nsw.gov.au/agriculture/broadacre-crops/forage-fodder/crops/summer-legume-forage>.
- RAULT, Anthony, 2019. *Opportunités et intérêts de cultiver du maïs ou sorgho fourrage en association avec des légumineuses tropicales dans le Sud-Ouest de la France* [en ligne]. S.I. [Consulté le 23 mai 2021]. Disponible à l'adresse : [https://rain-innovation.fr/wp-content/uploads/2020/10/2019-Rapport\\_RAULT.pdf](https://rain-innovation.fr/wp-content/uploads/2020/10/2019-Rapport_RAULT.pdf).
- SEMENTAL, 2020. *Association-LABLAC-MAÏS* [en ligne]. 2020. S.I. : s.n. [Consulté le 8 décembre 2020]. Disponible à l'adresse : <http://semental.fr/wp-content/uploads/2019/12/Association-LABLAC-MAIS.pdf>.
- SHEAHAN, Christopher, 2012. *Lablab (Lablab purpureus) Plant Guide* [en ligne]. 2012. S.I. : USDA-NRCS, Cape May Plant Materials Center, Cape May, New Jersey. [Consulté le 12 mars 2021]. Disponible à l'adresse : [https://plants.usda.gov/plantguide/pdf/pg\\_lapu6.pdf](https://plants.usda.gov/plantguide/pdf/pg_lapu6.pdf).
- STANGHELLINI, Cédric, 2019. La France importe-t-elle beaucoup de soja génétiquement modifié ? In : *LCI* [en ligne]. 2019. [Consulté le 4 mai 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.lci.fr/population/a-la-loupe-la-france-importe-elle-beaucoup-de-soja-genetiquement-modifie-2132184.html>.
- SULLIVAN, Preston, 2000. Intercropping Principles and Production Practices - Agronomy Systems Guide. In : *Institut for Agriculture and Trade Policy* [en ligne]. 2000. [Consulté le 28 avril 2021]. Disponible à l'adresse : [https://www.iatp.org/sites/default/files/Intercropping\\_Principles\\_and\\_Production\\_Practi.htm](https://www.iatp.org/sites/default/files/Intercropping_Principles_and_Production_Practi.htm).



## ANNEXE I

### Questionnaire d'enquête des éleveurs

<b>EXPLOITATION</b>		<b>Mise en place de l'association maïs/sorgho - légumineuses</b>	
Identifiant agriculteur :		Type d'association mise en place : maïs/lablab, sorgho/cowpea...	
Nom :		Année essai de l'association :	
Prénom :		Nombre d'années de test :	
Mail :		Essai suivi par un conseiller agricole :	
N° de téléphone :		Objectifs du test de l'association sur l'exploitation :	
Localisation :		Surface totale en maïs/sorgho pur : ha	
Département :		Surface en association maïs/sorgho légumineuse : ha	
Structure conseil :		Rotation dans laquelle l'association est intégrée	
SAU : ha		Autres association(s) maïs ou sorgho mise(s) en place sur exploitation	
SFP : ha		Volume irrigation maïs/sorgho pur :	
UTH :		Volume irrigation association :	
Mode de production :			
<b>Productions animales</b>			
Atelier 1 :			
Atelier 2 :			
Nombre d'UGB total			
Dont UGB VL			
Dont UGB BV			
Dont UGB chèvres laitières			
Production laitière : L/an			

<b>DESCRIPTION SOL</b>	
Type de sol : nom vernaculaire	
RU (mm)	
Si pas valeur RU : <80 mm, 80-130 mm, >130 mm	
Parcelle homogène : oui/non	
Si non : question ouverte pb homogénéité	
Sensibilité à la sécheresse de la parcelle :	
faible/moyenne/forte	
% MO	
pH - très acide : < 4.5, acide : 4.5-6.5, neutre : 6.5-7.5, basique : 7.5-8.5, très basique : > 8.5	
Profondeur de sol exploitable par les racines : cm	
Pierrosité : % ou 0-5%, 5-15%, 15-30%, >30%	
Hydromorphie : faible/moyenne/temporaire/forte	
Battance du sol : faible/moyenne/forte	
Avantages notables du sol : question ouverte	
Inconvénients notables du sol : question ouverte	

<b>Précédent cultural</b>			
Année récolte	Année n-1	Année n-2	Année n-3
Culture			
Rendement qt/ha			

SEMIS			
SEMENTES	Variété C4 pur	Variété C4 associée	Variété légumineuse
Nom de la variété			
Origine de la semence			
Coût des semences légumineuse : €/ha			
Indice de précocité : nombre			
SEMIS			
Date de semis : JJ/MM			
Densité de semis : kg/ha			
Densité de semis cible : nombre grains/ha			
Profondeur de semis : cm			
Ecartement inter-rang : cm			
Mode de semis du mélange : inter-rang/sur le rang			
Type de semoir : semoir à céréales/seoir monograine/strip-till/autre			
Semoir : largeur, nombre de rangs			
Nombre de passages semoir :			
ITK Préparation du lit de semences :			
Nombre de faux semis :			
Remarques difficultés semis : question ouverte (semis raté, corbeaux..)			
Date de levée : JJ/MM			
Pourcentage de levée : %			
Remarques levée : question ouverte			
Date floraison : JJ/MM			
Date début formation des graines : JJ/MM			

RECOLTE
Date de récolte : JJ/MM
Méthode de récolte : plante complète/maïs épis/autre
Matériel de récolte : modèle de l'ensileuse : à bec rotatif/bec non rotatif/bec kemper...
Rendement : t.MS /ha
Dont rendement légumineuse estimé : t.MS /ha
% de légumineuse dans le fourrage : %
Taux de MS : % MB
Conditions jour de la récolte : mauvaises/moyennes/bonnes
Remarque conditions récolte : question ouverte : sécheresse/humidité supplémentaire...
Difficulté(s) durant la récolte : note 0 à 10
Remarque(s) difficulté(s) à la récolte :
Avez-vous modifié votre manière de récolte ? question ouverte
Suggestion d'amélioration technique du matériel possible pour l'ensilage du mélange :
DEVELOPPEMENT
Hauteur du système aérien de la légumineuse à la récolte : cm
Rôle tuteur de la plante C4 pour la légumineuse : oui/partiel/non
Association : à la récolte le taux de couverture du sol : % de la surface totale en association
Pure : à la récolte le taux de couverture du sol par la plante C4 pure était : % de la surface totale
Homogénéité du développement de la légumineuse sur la parcelle :
Homogénéité du développement du maïs sur la parcelle :
Nodulation de la légumineuse : oui/non/n'a pas regardé
Economie d'azote permise par l'association : oui/non/ne sait pas
Si oui : dose économisée U d'N/ha
Stade de maturité de la légumineuse à la récolte : Absente/Plantes vertes bien développées/Plantes sèches/Plantes vertes mais peu développées/en graines/en fleurs/autre
Etat du maïs à la récolte : Absente/Plantes vertes bien développées/Plantes sèches/Plantes vertes mais peu développées/autre
Remarque(s) développement de la légumineuse :
CONSERVATION
Type de silo : silo couloir/silo taupinière/silo boudin/autre
Constitution d'un silo complet : oui/non
Méthode d'intégration du mélange dans silo : en sandwich/autre
pH de l'ensilage : chiffre
Utilisation d'un conservateur : oui (nom)/non
Densité de l'ensilage par rapport culture pure : plus dense/moins dense/pas de différence
Durée de conservation du mélange dans le silo jusqu'à ouverture du silo : jours
Conservation du fourrage au silo par rapport C4 seule : moins bonne conservation/meilleure conservation/pas de différence
Problème de conservation : jus de silo/mauvaise fermentation

<b>VALORISATION PAR LES ANIMAUX</b>	
<b>Ration</b>	
Consommation annuelle de maïs/sorgho fourrage : tonne	
Concentrés achetés sur l'exploitation :	
	Origine : Type de concentrés : Coût : €/tonne Quantité achetée annuellement : tonnes
Concentrés produits sur l'exploitation annuellement : tonnes	
Modification de la ration avec le mélange : oui/non	Si oui : quelle modification Si non : pourquoi ?
Réduction des achats de concentrés protéique : oui/non	Si oui : € économisés Si oui : quantité économisée : kg Si oui : % de diminution consommation
<b>Autonomie protéique</b>	
Est-ce que vous vous sentez autonome en protéines : oui/non/ne sait pas	
Connaissez-vous votre autonomie protéique : oui/non	
Si oui, avez-vous une idée de votre autonomie protéique : chiffre	
Si non : donner une classe : <30%, 30-50%, 50-60%, 60-70%, 70-80%, 80-90%, 90%<	
D'où provient cette information : calculs de l'agriculteur, d'un conseiller, technicien, OAD...	
<b>Distribution</b>	
Devenir du fourrage produit : auto-consommation, vente...	
Difficulté lors de la distribution du fourrage à l'auge par rapport pure : moins difficile/légèrement plus difficile/beaucoup plus difficile/pas de différence	
Appétence du fourrage par rapport au fourrage pur : moins appétant/pas de différence/plus appétant	
Remarque(s) sur la distribution : présence de refus, appétence du fourrage...	
<b>Effet de l'association sur les animaux</b>	
Modification de la productivité (lait ou viande) :	Changement(s) observé(s) productivité :
Si vaches/chèvres laitières :	L/vache/jour avec maïs/sorgho pur L/vache/jour avec association
Si bovin viande :	Production viande vive avec maïs/sorgho pur : kg produits/UGB Production viande vive avec association : kg produits/UGB
Modification de la qualité du lait/viande :	Changement(s) observé(s) qualité :
Si vaches/chèvres laitières :	TP : maïs/sorgho pur : g/kg TP : association : g/kg
	TB : maïs/sorgho pur : g/kg TB : association : g/kg
Impact sur l'état sanitaire du troupeau : oui et marqué-significatif/oui mais très légère/non	Changement(s) observé(s) sanitaire :

<b>BILAN DE L'ASSOCIATION</b>	
Satisfaction productivité du fourrage :	
Satisfaction valeur alimentaire du fourrage :	
<b>Bilan agronomique</b>	
Satisfaction gestion du salissement par adventices - désherbage :	
	Comparaison culture pure - désherbage
	Amélioration de la couverture du sol :
Satisfaction gestion ravageurs et maladies :	
	Comparaison culture pure - ravageurs/maladies
Satisfaction gestion fertilisation :	
	Comparaison culture pure - fertilisation
Comportement du mélange au stress hydrique : très faible tolérance/faible tolérance/moyenne tolérance/globalement tolérant/ forte tolérance	
<b>Stress abiotique</b>	
Avez-vous observé des symptômes de stress abiotiques sur le maïs ou le lablab ? Oui/non	
	Si oui : quels symptômes ?
	Sur quelle plante : plante C4 ou légumineuse ?
	A quel stade ?
	Quelle est l'origine de ces symptômes ?
Compétition dans l'association selon l'agriculteur : aucune/un peu/moyenne/forte	
	Compétition pour quelle(s) ressource(s) ?
	Si compétition : à quel stade ?
	Impact sur l'association :
Effet de l'association sur le suivant : oui/non	
Adaptation de la légumineuse au type de sol : pas du tout/moyen/en globalité/oui	
Présence de biodiversité sur la culture par rapport culture pure :	
<b>Bilan socio-économique</b>	
<b>Satisfaction volet économique :</b>	
	Comparaison culture pure - économie
	Remarques économie : frais de machinisme supplémentaires... question ouverte
<b>Satisfaction volet social :</b>	
	Comparaison culture pure - social
	Remarques social : pénibilité du travail, modification temps de travail, organisation, charges de travail
<b>Bilan général</b>	
<b>Satisfaction conduite générale de la culture :</b>	
	Comparaison culture pure - conduite générale
	Remarques conduite générale : question ouverte
	Note de satisfaction conduite générale culture pure sur année n : note 1 à 10
	Note de satisfaction conduite générale association sur année n : note 1 à 10
Objectifs de départ atteints : oui/non	
	Si non : pourquoi : question ouverte
Avantages de l'association :	
Inconvénients de l'association :	
Suggestion(s) d'améliorations techniques de l'association : question ouverte	

## ANNEXE II

### Protocole complet de l'expérimentation en serre

#### ➤ Préparation de la terre et des graines

Les 250 kg de terre nécessaire pour chaque type de sol sont récupérés à Lusignan d'une part (Terres rouges à châtaigniers) et à Saint-Jean d'Angely (Groie) d'autre part. Avant la mise en pot, les deux types de sol sont passés au tamis afin de retirer les cailloux ( $> 2$  cm). Durant la préparation des pots, la terre est brassée et affinée à la main pour avoir un substrat homogène. Les pots sont drainés grâce à des trous dans leurs fonds. Une fois les pots préparés, la terre est humidifiée en surface puis recouvert d'une toile blanche afin de faire germer les graines présentes dans la terre et diminuer le stock d'adventices des pots.

Les graines de lablab sont désinfectées avant le semis afin d'éviter les phénomènes de contamination par des *rhizobia* présents dans les téguments des graines. Le protocole de désinfection est fourni par l'INRAE de Dijon. Une solution à base d'eau de Javel à 0.96% de chlore actif est préparée. Les graines sont désinfectées avec la solution en couvrant les graines entièrement durant 10 minutes. Ensuite, les graines sont rincées entre 8 et 10 fois à l'eau jusqu'à disparition de l'odeur d'eau de Javel. Le semis est réalisé dans la foulée en retenant les graines les moins imbibées.

#### ➤ Semis

Le lablab est semé le 30 avril. Le nombre de graines semé est volontairement doublé afin de prendre en compte de possibles problèmes de germination de graines. Ainsi, 8 graines sont semées dans chaque pot. Après la levée, un travail d'éclaircissement (démariage) est réalisé afin de ne conserver que les 4 plantes les plus développées et avoir des pots homogènes.

#### ➤ Inoculation

L'inoculum de l'INRAE de Dijon est apporté sous forme liquide à hauteur de 10 mL dans le trou de semis grâce à une seringue, puis la terre est refermée.

#### ➤ Fertilisation

Des mesures de reliquats d'azote sont réalisées au moment du semis en prélevant 300 grammes de terre conservés au congélateur avant analyse. L'apport de fertilisant azoté est fait au semis à l'aide d'ammonitrat à hauteur de 60 unités d'azote. Cette dose correspond à une dose d'engrais starter pouvant être apportée au semis dans les conditions aux champs.

#### Facteurs mesurés :

Après avoir prélevé la biomasse aérienne de chaque pot, les racines sont lavées à l'eau afin de retirer toute trace de terre. Les nodosités sont ensuite retirées des racines à la main. Les biomasses fraîches aérienne et racinaire sont mesurées après arrachage des pieds. Les échantillons de biomasses et les nodosités sont ensuite passés pendant 48h à l'étuve à 70°C puis pesés de nouveau pour obtenir les masses sèches. Des échantillons de matière sèche de feuilles et de racines sont prélevés pour être analysés par un laboratoire. La couleur des nodosités est observée à l'œil nu afin d'attester de la fonctionnalité des nodosités. Les plantes témoin non inoculés doivent également être dépotés et les racines lavées pour vérifier qu'il n'y a pas eu de contamination par un *inoculum*.

## ANNEXE III

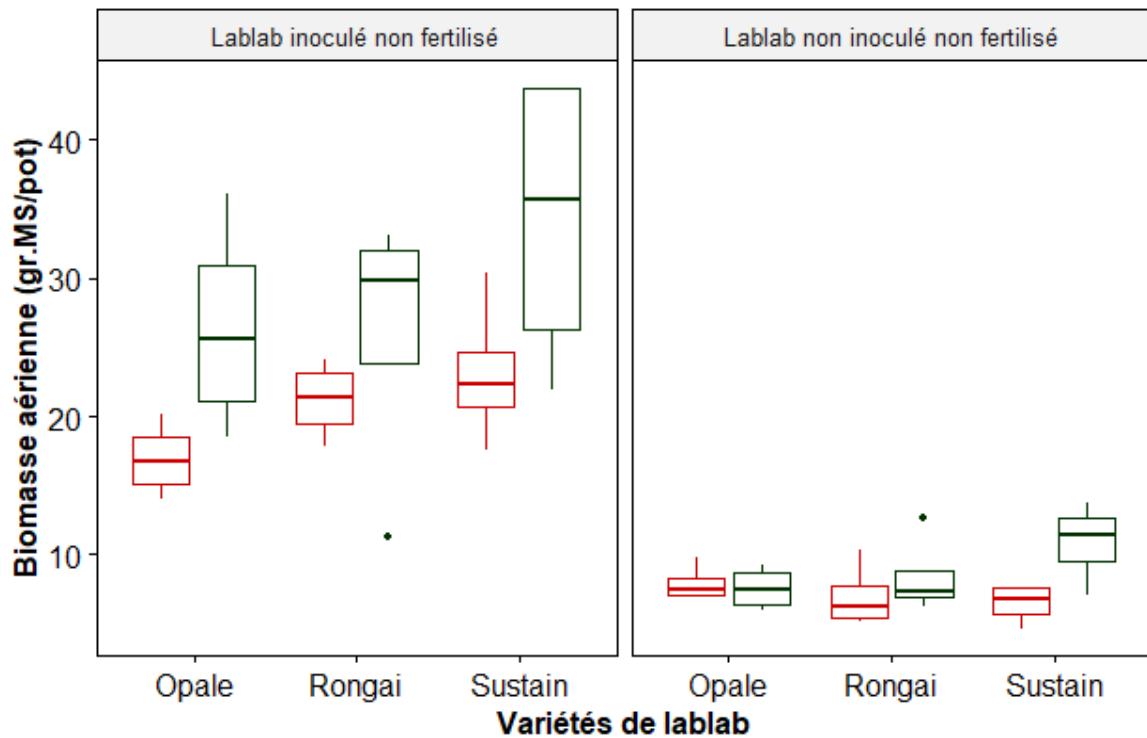
Prix des semences de maïs et de lablab (Communication personnelle Semental, 2021)

Semences	Mode de production	Dose	Prix
Maïs	Conventionnel	50 000	90 €
	Bio	50 000	160 €
Lablab	Mixte	50 000	60 €

#### ANNEXE IV

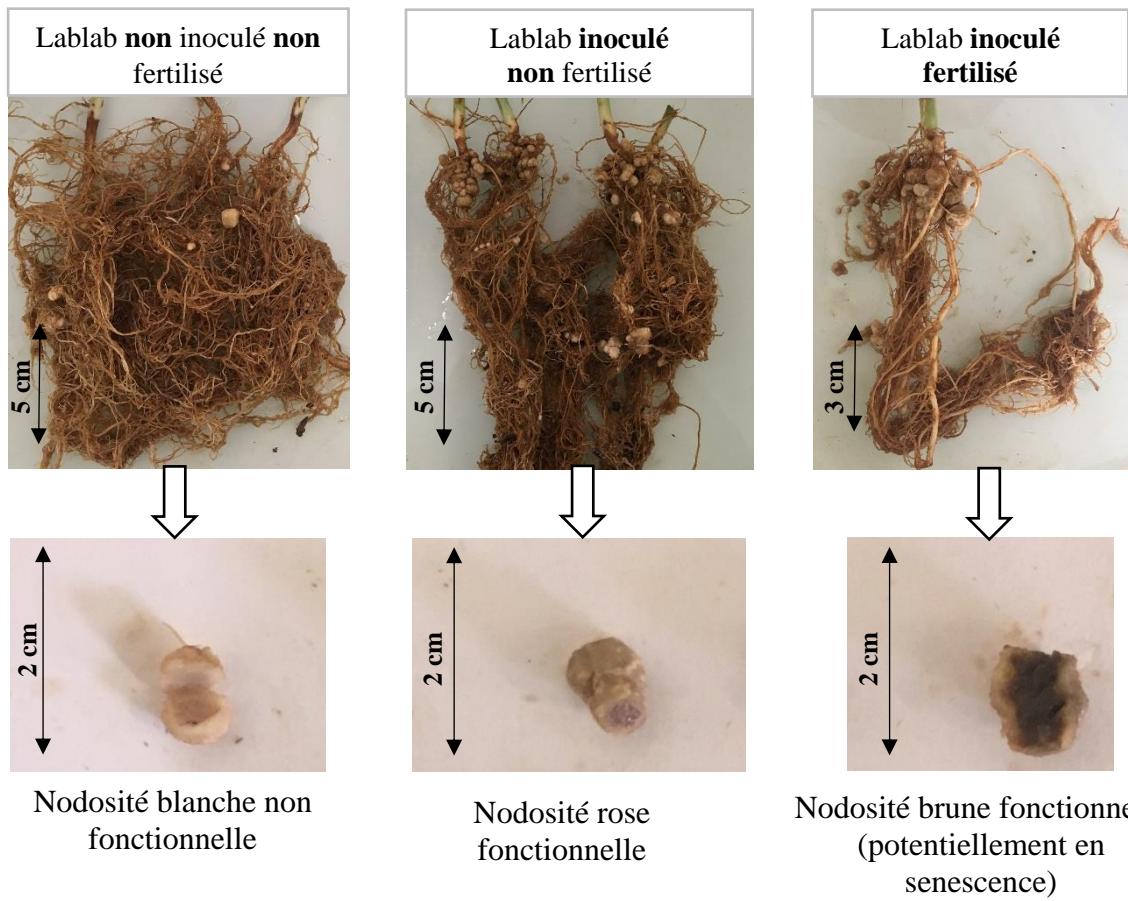
Biomasse aérienne sèche produite par pot de lablab en fonction du type de sol, des variétés et de l'inoculation

Sol  Groie  Limon



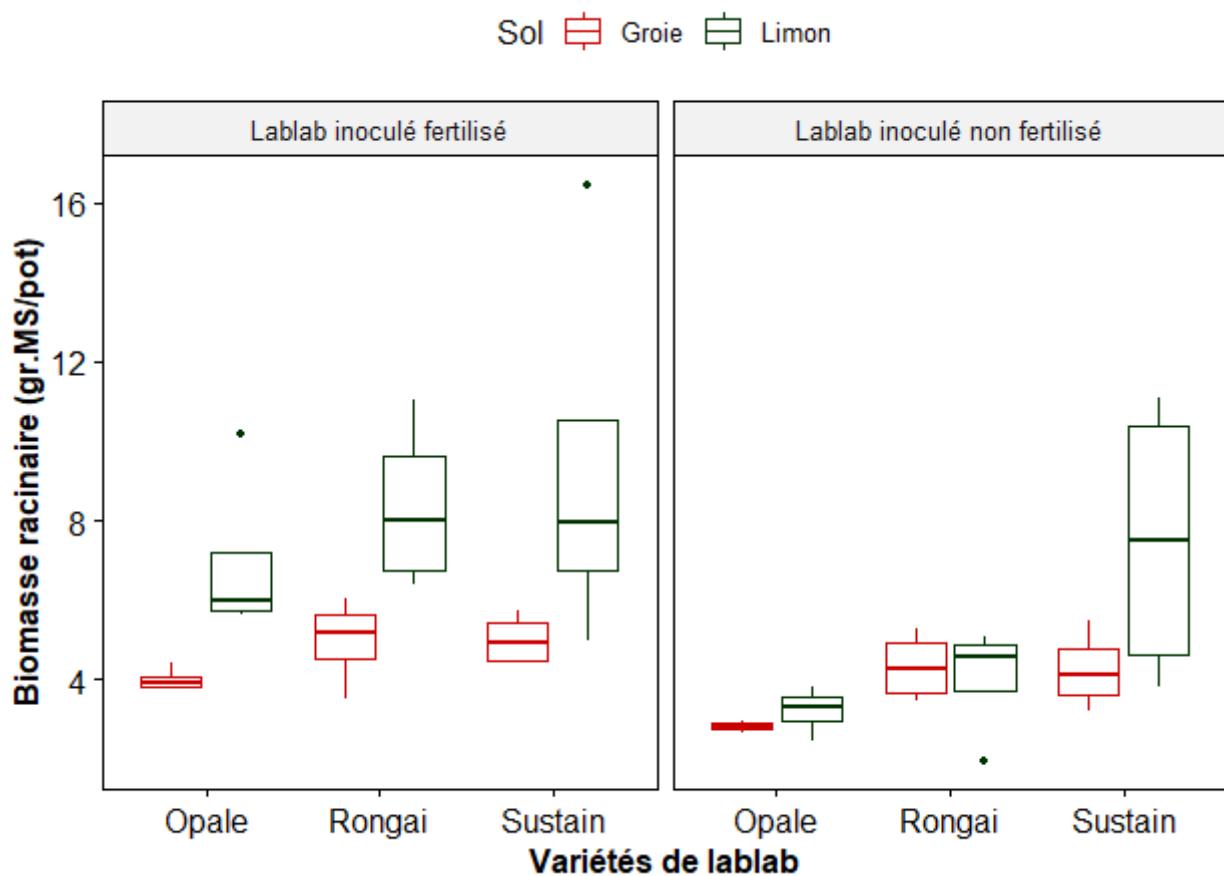
## ANNEXE V

Photographies des nodosités observées sur la variété Sustain sur sol limoneux le 12/07/21 à Lusignan (Source personnelle)



## ANNEXE VI

Biomasse racinaire sèche produite par pot de lablab en fonction du type de sol, des variétés et de la fertilisation



Cette étude a été réalisée dans le cadre du projet TROPICOW, conduit par la CRA Nouvelle Aquitaine et financé par l'Appel à projet 2020 Casdar Innovation et Partenariat.



	<p>Diplôme : Ingénieur de l'École nationale supérieure des sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage (AGROCAMPUS OUEST), école interne de l'institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement</p> <p>Spécialité : Ingénieur Agronome</p> <p>Spécialisation : Sciences et Ingénierie du Végétal</p> <p>Option : Agrosystèmes : conception et évaluation</p> <p>Enseignant référent : Matthieu CAROF</p>	
<p>Auteure : Elsa DAVID</p> <p>Date de naissance : 05/04/1998</p>	<p>Organisme d'accueil : Chambre Régionale d'agriculture Nouvelle-Aquitaine</p>	
<p>Nb pages : 25</p>	<p>Annexe : 6</p>	<p>Adresse : 12 Bd Joseph Lair, 17400 Saint-Jean-d'Angély</p>
<p>Année de soutenance : 2021</p>	<p>Maître de stage : Olivier GUERIN</p>	
<p><b>Titre français :</b> Opportunités et intérêts de cultiver du maïs fourrage en association avec une légumineuse tropicale dans le Sud-Ouest de la France</p>		
<p><b>Titre anglais :</b> Opportunities and interests to grow corn silage in association with a tropical legume in the South West of France</p>		
<p><b>Résumé :</b> S'il est riche en énergie, la faible valeur protéique de l'ensilage de maïs contraint les éleveurs à équilibrer la ration avec des concentrés protéiques. Le projet Tropi'Cow vise à acquérir des références sur une pratique innovante associant des légumineuses tropicales lablab et cowpea au maïs et sorgho pour obtenir un fourrage enrichi en protéines. Une enquête a permis de capitaliser les informations techniques produites depuis 2019 par les éleveurs et conseillers pour mesurer les effets de l'introduction du maïs/lablab sur les dimensions agronomique, zootechnique et économique. Il ressort qu'en l'absence de gain de rendement et de valeur alimentaire et peu d'effet sur les performances du troupeau, l'intérêt de l'association maïs/lablab est limité sans <i>inoculum</i>. Des expérimentations en serre d'un <i>inoculum</i> australien du lablab ont montré que l'inoculation permet de tripler le rendement en biomasse aérienne grâce à la formation de nodosités fonctionnelles sur 74 jours. Cela s'accompagne d'une expansion du système racinaire et d'un enrichissement en protéines des parties aériennes. Le rendement et la masse de nodosités produite dans les sols argilo-calcaire à pH 6.5 sont significativement plus élevées qu'en sol de groie à pH 8. D'après l'étude, la fertilisation n'inhibe pas la formation de nodosités en conditions semi-contrôlées. Les références produites permettront de définir les paramètres à expertiser lors des tests au champ chez les éleveurs. Les premiers résultats expérimentaux et expériences d'éleveurs obtenus avec l'<i>inoculum</i> sont prometteurs pour la suite du projet.</p>		
<p><b>Abstract:</b> Although it is rich in energy, the low protein value of corn silage forces farmers to balance the ration with protein concentrates. The Tropi'Cow project aims to collect references on an innovative practice combining lablab and cowpea tropical legumes with corn and sorghum to produce a protein-enriched forage. A study was conducted to capitalize on technical information generated since 2019 by farmers and agricultural advisors to measure the effects of introducing corn-lablab mixture on the agronomic, zootechnical and economic dimensions. It was found that, with no yield gain and feed value and little effect on herd performance, the interest of the corn-lablab association is limited without <i>inoculum</i>. Greenhouse experiments with an Australian lablab <i>inoculum</i> have shown that inoculation triples above-ground biomass yields due to the formation of functional nodules over 74 days. This is combined with an expansion of the root system and a protein enrichment of the aerial parts. The yield and nodule mass produced in clay-limestone soils at pH 6.5 are significantly higher than in grove soils at pH 8. According to the study, fertilization does not inhibit nodule formation under semi-controlled conditions. The provided references produced will be used to define parameters to be evaluated during field tests with farmers. The first experimental results and farmers' experiences obtained with the <i>inoculum</i> are promising for the future of the project.</p>		
<p><b>Mots-clés :</b> associations culturales, lablab, autonomie protéique, MAT, <i>inoculum</i>, nodulation</p>		
<p><b>Key Words:</b> crop mixtures, lablab, protein autonomy, crude protein, <i>inoculum</i>, nodulation</p>		