



HAL
open science

Opportunités et intérêts de cultiver du maïs ou sorgho fourrage en association avec des légumineuses tropicales dans le Sud-Ouest de la France

Anthony Rault

► To cite this version:

Anthony Rault. Opportunités et intérêts de cultiver du maïs ou sorgho fourrage en association avec des légumineuses tropicales dans le Sud-Ouest de la France. Sciences du Vivant [q-bio]. 2019. dumas-02371703

HAL Id: dumas-02371703

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02371703>

Submitted on 20 Nov 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Année universitaire : 2018-2019

Master Biologie, Agrosiences

Parcours Amélioration, Production,
Valorisation du végétal

Option : Fonctionnement et Gestion des
Agrosystèmes

Rapport de stage

- d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage
- de Master de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage
- d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)

Opportunités et intérêts de cultiver du maïs ou sorgho fourrage en association avec des légumineuses tropicales dans le Sud-Ouest de la France

Par : Anthony RAULT



Soutenu à Rennes le 28/06/2019

Devant le jury composé de :

Président : Edith LE CADRE

Autres membres du jury : Olivier GODINOT

Maître de stage : Sébastien MINETTE

Enseignant référent : Matthieu CAROF

Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celles d'AGROCAMPUS OUEST et l'université de Rennes 1

Ce document est soumis aux conditions d'utilisation
« Paternité-Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de Modification 4.0 France »
disponible en ligne <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr>



Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Sébastien MINETTE, mon maître de stage, qui m'a accordé toute sa confiance durant ces 6 mois de stage. Je le remercie de m'avoir partagé toute son expérience et pour ces remarques toujours constructives. Ce travail m'aura permis de compléter mes connaissances du monde agricole.

J'adresse aussi mes remerciements à Jean-Luc FORT, directeur du service Recherche, Développement, Innovation pour la relecture de ce rapport, ses conseils toujours enrichissants et ses visites sur le site des Verrines qui ont permis le bon déroulement de ce stage.

Je remercie aussi Olivier GUERIN, co-encadrant de cette étude d'avoir été disponible pour répondre à l'ensemble de mes questions et qui m'a apporté son appui technique tout au long de mon stage.

Je tiens également à remercier, Matthieu CAROF, mon tuteur de stage pour ces conseils ainsi que ces remarques pour la rédaction de ce mémoire.

Mes remerciements vont aussi à tous les éleveurs pour le temps précieux qu'ils ont pu m'accorder lors de mes visites au sein de leur exploitation. Je les remercie pour ces moments d'échanges et d'apprentissage toujours très intéressants et enrichissants.

Merci également à l'ensemble des personnes travaillant aux Verrines pour leur accueil aux seins de leurs locaux et la bonne ambiance aux pauses café.

J'adresse un dernier mot à tous mes collègues stagiaires et CDD présents sur le site des Verrines durant ces 6 mois de stage. Je remercie Myriam SACHOT et Fabien RICHARD pour la super ambiance qu'ils ont amené dans le bureau. Je remercie également Nicolas, Tom, Cyril, Adrien, Julien, Brendan et Margot pour leur bonne humeur et les moments passés ensemble à Lusignan et Poitiers. Mentions spéciales à mes coéquipiers de badminton avec qui j'ai pu me défouler, il vous faudra encore de l'entraînement pour me battre !!!

Table des matières

1.	Introduction	1
2.	Contexte.....	2
2.1.	L'autonomie protéique en France.....	2
2.2.	Rôle de la CRA de Nouvelle-Aquitaine	2
2.3.	Le maïs/sorgho ensilage	3
2.4.	Les limites des premières associations du maïs/légumineuses couramment cultivées en France métropolitaine	4
2.5.	Les légumineuses tropicales pressenties candidates.....	6
2.5.1.	Les essais dans le Monde	6
2.5.2.	La vision des semenciers	7
2.6.	Problématique.....	8
3.	Matériel et méthodes.....	9
3.1.	Sources d'informations et outils de collecte.....	9
3.1.1.	Bibliographie	9
3.1.2.	Personnes « ressources »	9
3.2.	Choix des cultures : définition des critères de sélection.....	10
3.3.	Analyse des expériences.....	11
3.4.	Mode d'évaluation de chaque expérience	11
4.	Résultats.....	13
4.1.	Choix des cultures associées	13
4.2.	Physiologie des légumineuses associées	13
4.3.	Synthèse des enquêtes et des expériences recensées	14
4.3.1.	Présentation de l'échantillon	14
4.3.2.	Analyse des Itinéraires Techniques (ITK).....	15
4.3.3.	Atouts et contraintes liés à ce type d'association	16
4.4.	Synthèse des ITK.....	17
4.5.	Analyse des rendements et des valeurs alimentaires sur les expérimentations	17
4.6.	Facteurs limitants	18
4.7.	Etude économique	19
4.8.	Synthèse des résultats.....	20
5.	Discussion.....	21
5.1.	Discussion de la méthode	21
5.2.	Discussion des résultats.....	21
5.3.	Discussion sur les nodosités	22
5.4.	Perspectives.....	23
6.	Conclusion.....	24
	Bibliographie.....	25
	Sitographie	

Liste des figures

Figure 1 : Part des aliments consommés par UGB dans les systèmes bovins français (Rouillé et al., 2014).....	2
Figure 2 : Production laitière par hectare de Surface Fourragère Principale (en l/ha) (Goffart, 2011) ..	3
Figure 3 : Surfaces de maïs grain et maïs fourrage en France en 2002 (Gnis-Pédagogie).....	3
Figure 4 : Synthèse des résultats d’essais du programme Reine Mathilde sur des associations du maïs ensilage avec des plantes associées sur 3 ans dans le Calvados (Guimas et al., 2015)	5
Figure 5 : Equation du calcul du delta des charges opérationnelles (€/ha).....	12
Figure 6 : Equation du calcul du delta de protéines produites par unité de surface (kg/ha).....	12
Figure 7 : Equation du calcul de rentabilité de la culture associée (€/ha)	12
Figure 8 : Equation permettant l’extrapolation des valeurs de rendement et de MAT à atteindre pour rentabiliser l’association (tMS/ha)	12
Figure 9 : Graphique exemple présentant le rendement et la valeur de MAT à atteindre permettant d’équilibrer les charges opérationnelles engagées de la culture associée.....	12
Figure 10 : Carte de localisation des éleveurs et des sites maïs/sorgho ensilage avec des légumineuses tropicales recensés en France (d’après My Maps, données cartographiques ©2018 Google)	14
Figure 11 : Carte de localisation des 15 tests éleveurs (en vert) et des 10 sites (en orange) maïs/sorgho ensilage avec des légumineuses tropicales retenus en France (d’après My Maps, données cartographiques ©2018 Google)	14
Figure 12 : Schéma explicatif des éleveurs retenus pour l’analyse.....	14
Figure 13 : Lablab se servant du maïs comme tuteur grâce à son port volubile (CRA NA, 2018).....	17
Figure 14 : Itinéraire technique recommandé pour l’association du sorgho ensilage avec le Cowpea	17
Figure 15 : Itinéraire technique recommandé pour l’association du maïs ensilage avec le Lablab et le Cowpea.....	17
Figure 16 : Comparaison des rendements obtenus en tMS/ha entre le maïs pur (n=10), le maïs/Lablab (n=10) et le maïs/Haricot Tarbais (n=8) sur les expérimentations	18
Figure 17 : Comparaison des teneurs en MAT obtenues en pourcentage entre le maïs pur (n=10), le maïs/Lablab (n=10) et le maïs/Haricot Tarbais (n=8) sur les expérimentations	18
Figure 18 : Comparaison de la quantité de protéines produites par unité de surface sur les expérimentations entre le maïs pur (n=10), le maïs/Lablab (n=10) et le maïs/Haricot Tarbais (n=8) ..	18
Figure 19 : Comparaison du delta de protéines produites par unité de surface par rapport au maïs pur entre le maïs/Lablab (n=10) et le maïs/Haricot Tarbais (n=8) sur les expérimentations.....	18
Figure 20 : Représentation de l’irrigation (en mm) en fonction du delta du rendement (tMS/ha) et de la MAT (%) du maïs/Lablab (n=9) par rapport au maïs cultivé seul	19
Figure 21 : Représentation linéaire de la fertilisation azotée en fonction de la teneur en MAT sur les expérimentations maïs/Lablab (n=10).....	19
Figure 22 : Représentation linéaire de la fertilisation azotée en fonction du rendement sur les expérimentations maïs/Lablab (n=10).....	19
Figure 23 : Comparaison des charges opérationnelles liées à l’implantation de l’espèce associée de Lablab (n=10) ou de Haricot Tarbais (n=8) par rapport à la culture de maïs pur sur les expérimentations (Prix des graines de Lablab (4.95€/kg) et de Haricot Tarbais (20€/kg)).....	20
Figure 24 : Comparaison de la rentabilité de la culture associée de maïs-Lablab (n=10) et maïs-Haricot Tarbais (n=8) en fonction du prix du tourteau de soja (Prix du soja conventionnel (370 €/t) et Bio (850 €/t)) et des charges opérationnelles	20
Figure 25 : Approche par extrapolation des valeurs de rendement et MAT à atteindre pour rentabiliser l’association « Maïs – Lablab » Simulation par rapport à un maïs pur, rendement : 14.1tMS/ha à 6,5 % de MAT Surcoût charges opérationnelles : 100 €/ha (prix semences bio et conventionnelles identiques); Prix du soja conventionnel (370 €/t) et Bio (850 €/t).....	20
Figure 26 : Dispositif expérimental des différents tests en pots sur le Lablab et le Cowpea réalisés à l’INRA FERLUS (les Verrines, Lusignan)	22

Liste des tableaux

Tableau 1 : Production de biomasse fourragère dans les systèmes de cultures associées avec le sorgho comparés au sorgho seul dans des conditions pédo-climatiques variées. (Iqbal et al., 2019)	6
Tableau 2 : Valeurs nutritives des fourrages mélangés dans les systèmes de cultures associés en sorgho/maïs comparés au sorgho/maïs seul dans des conditions pédo-climatiques variées.....	6
Tableau 3 : Sources d'informations de l'étude	9
Tableau 4 : Liste des informations demandées aux éleveurs	9
Tableau 5 : Récapitulatif des indicateurs utilisés sur les tests éleveurs et les expérimentations.....	11
Tableau 6 : Cultures non retenues en fonction des critères de sélection	13
Tableau 7 : Caractéristiques des légumineuses associées sélectionnées pour l'étude (Inspiré du travail de DUPUY Laura CA 24)	13
Tableau 8 : Récapitulatif des expérimentations sur les 10 sites retenus.....	14
Tableau 9 : Principales informations qualitatives sur l'association du maïs ensilage avec du Lablab et du Cowpea recueillies auprès des éleveurs	15

Liste des abréviations

Ca : Calcium

CO : Charges Opérationnelles

CDA : Chambre Départementale d'Agriculture

CRA NA : Chambre Régionale d'Agriculture de Nouvelle-Aquitaine

ITK : Itinéraire Technique

K : Potassium

MAT : Matières Azotées Totales

MF : Matière Fraîche

Mg : Magnésium

MS : Matière Sèche

N : Azote

P : Phosphore

PMG : Poids de Mille Grains

R&D : Recherche et Développement

SAU : Surface Agricole Utile

UN : Unité d'Azote

1. Introduction

Une augmentation de 60 % de la production agricole est nécessaire d'ici 2050 pour nourrir la population humaine croissante du monde (FAO, 2009). L'augmentation rapide du rendement des cultures obtenue après 1950 grâce aux progrès de la sélection des cultures et aux intrants agricoles commence maintenant à se stabiliser. Dans le même temps, les agriculteurs sont obligés de produire de manière durable avec moins d'intrants, en raison de la disponibilité réduite de produits pour lutter efficacement contre les adventices et minimiser les dommages environnementaux. Cela représente un défi important pour optimiser la productivité et réduire les pertes, créant un besoin urgent d'accroître l'efficacité et la durabilité de l'agriculture en Europe et en France. Il est donc important de concevoir de nouveaux systèmes de culture permettant aux agriculteurs d'accroître leur efficacité et de réduire la pollution (Karley, 2017). Dans ce contexte, la Chambre Régionale d'Agriculture de Nouvelle-Aquitaine souhaite acquérir des références sur la faisabilité de cultiver du maïs ou du sorgho ensilage associé à des légumineuses tropicales.

Le maïs et le sorgho ensilage apporte beaucoup d'énergie à la ration mais contribue faiblement à l'apport de protéines à raison de 7 % (moyenne nationale) (Chauveau, 2018). Afin d'augmenter la valeur fourragère de la ration alimentaire, en particulier la teneur en azote totale (MAT : Matière Azotée Totale), l'association du maïs et du sorgho ensilage avec des espèces « riches en azote » a été envisagée.

Des travaux de références réalisés en France ont montré les limites d'association du maïs à des légumineuses couramment cultivées en France métropolitaine (féverole, soja, vesce, pois,...) (Chapot, 1990 ; Guimas *et al.*, 2015).

Pour optimiser l'association avec le maïs, les espèces candidates doivent avoir des traits physiologiques bien spécifiques. Tout d'abord, l'espèce doit posséder un fort taux de protéines en culture pure afin que la part de cette espèce dans le mélange augmente significativement le taux de MAT dans la ration. En second, elle doit présenter un cycle végétatif assez long pour viser un stade « en vert » au moment de la récolte de l'association et éviter tout problème de montée en graine. Troisième point, pour des raisons de récolte et aussi de proportion dans le mélange, l'espèce associée doit avoir un développement aérien d'au moins 1 mètre à la récolte. Pour le côté zootechnique, ces espèces ne doivent pas être toxiques pour le bétail. Enfin, leur capacité à pousser en conditions limitantes est recommandée (tolérance au stress hydrique). Certaines espèces de légumineuses (Fabacées) sont ainsi apparues comme pertinentes

La société semencière SEMENTAL a commercialisé deux variétés de deux espèces différentes : Rongaï et Black stalion. Le Rongaï est une variété de *Lablab purpureus* encore appelé Dolique d'Égypte ou Lablab dans la bibliographie internationale. Black stalion est une variété de *Vigna unguiculata* appelé Cowpea en anglais ou niébé en français. Ces deux « légumineuses » possèdent ces différents traits physiologiques. Il a été montré dans la bibliographie internationale qu'elles s'associaient particulièrement bien avec le maïs ou le sorgho ensilage que ce soit en Afrique (Coulibaly *et al.*, 2012) ou en Amérique du Nord.

Cette étude s'intéressera dans un premier temps au contexte du maïs et du sorgho ensilage cultivés en France métropolitaine. Suivra un point bibliographique sur les légumineuses tropicales. La seconde partie permettra d'expliquer les méthodes utilisées pour acquérir les données et le traitement des résultats récoltés. Les résultats permettront d'établir les itinéraires techniques les mieux adaptés sur ces associations et l'intérêt économique de ces associations sera évalué. Enfin, ces résultats seront discutés dans le but de conclure sur l'intérêt de cultiver du maïs ou du sorgho ensilage avec des légumineuses tropicales.

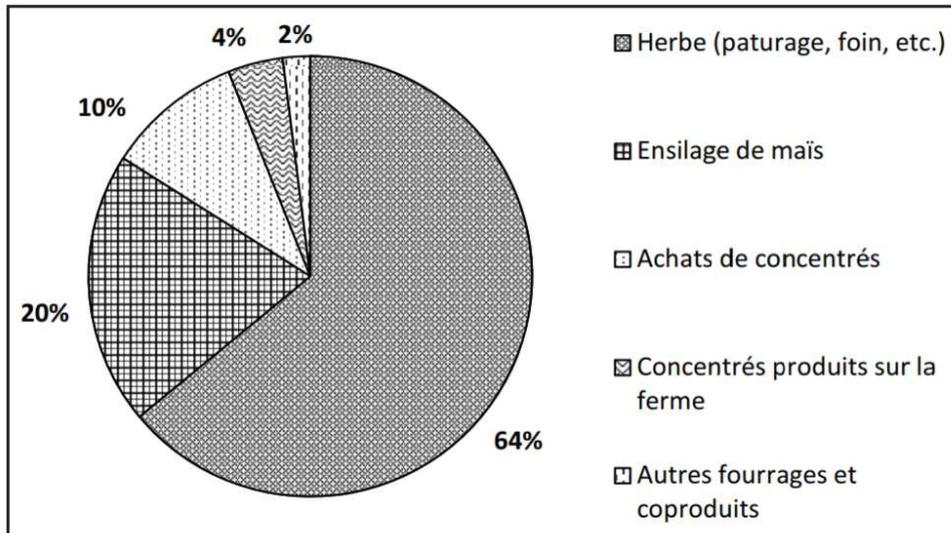


Figure 1 : Part des aliments consommés par UGB dans les systèmes bovins français (Rouillé et al., 2014)

2. Contexte

2.1. L'autonomie protéique en France

Les animaux d'élevage dans le monde et en France ont tout comme les humains besoin de protéines et d'énergie pour produire de la viande ou du lait. Cette alimentation (**Fig. 1**) provient directement des élevages ou est importée, ce qui conditionne l'autonomie alimentaire de l'exploitation. Cette autonomie est définie comme le rapport entre les aliments produits sur l'exploitation et les aliments consommés par le troupeau. Elle peut être exprimée selon 3 niveaux :

- L'autonomie massique qui traite des quantités de matière sèche des aliments.
- L'autonomie énergétique qui s'appuie sur les quantités d'énergie apportées par ces aliments, exprimée en unités fourragères
- L'autonomie protéique, qui traite des quantités de protéines apportées par ces aliments, exprimée en MAT (Matière Azotée Totale).

En France, les niveaux d'autonomie massique, énergétique et protéique sont assez élevés. En effet, les pourcentages sont de 88 %, 87 % et 77 % respectivement pour les filières bovines. La majeure partie de l'alimentation des bovins provient du maïs ensilage à raison des 2/3 de la ration annuelle chez les vaches laitières (Vergonjeanne, 2016). Ces fourrages ne permettent pas une autonomie protéique et les élevages de ruminants en mode de production conventionnel sont dépendants des sources de protéines apportées par la complémentation, essentiellement à base de tourteaux de soja. En système bovin lait intensif, la part des concentrés achetés représente 18 à 25 % de la quantité d'aliments distribués (Devun *et al.*, 2012). Pour les systèmes caprins à base de maïs ensilage, la part des concentrés achetés représente 31 % de l'apport protéique (Bossis et Jost, 2016). Pour les élevages en production biologique, les légumineuses à graines trouvent principalement des débouchés dans les filières d'alimentation humaine et sont donc peu disponibles pour les élevages.

Ainsi, la principale source de protéines végétales en élevage est le soja. Ce soja est principalement produit en Amérique du Sud et aux Etats-Unis. Son coût ainsi que sa fluctuation (de 200 \$/t à 600 \$/t en conventionnel entre 2009 et 2012) posent des problèmes d'ordre économique, environnemental et sociétal du fait de la forte dépendance de la filière bovine au tourteau de soja (Rouverand, 2018).

En production biologique, le coût des concentrés protéiques limite souvent son intégration dans la ration. Les éleveurs et leurs accompagnateurs recherchent donc tous les moyens d'augmenter la part de protéines dans les fourrages produits sur les surfaces des exploitations. Améliorer l'autonomie protéique est donc un enjeu important pour l'alimentation des ruminants.

2.2. Rôle de la CRA de Nouvelle-Aquitaine

Les Chambres d'Agriculture sur le territoire métropolitain et dans les DOM-TOM jouent un rôle majeur dans le développement de l'agriculture. Leur mission principale, définie par le Code rural est de : « Contribuer à l'amélioration de la performance économique, sociale et environnementale des exploitations agricoles et de leurs filières » (Chambres d'Agriculture FRANCE, 2014). La Chambre Régionale d'Agriculture de Nouvelle-Aquitaine conduit, en relation avec les différents acteurs agricoles, différents projets de recherche et développement répondant à des problématiques rencontrées par les agriculteurs et les conseillers. Cette étude vise à améliorer l'autonomie protéique des exploitations tout en permettant une réduction des intrants utilisés.

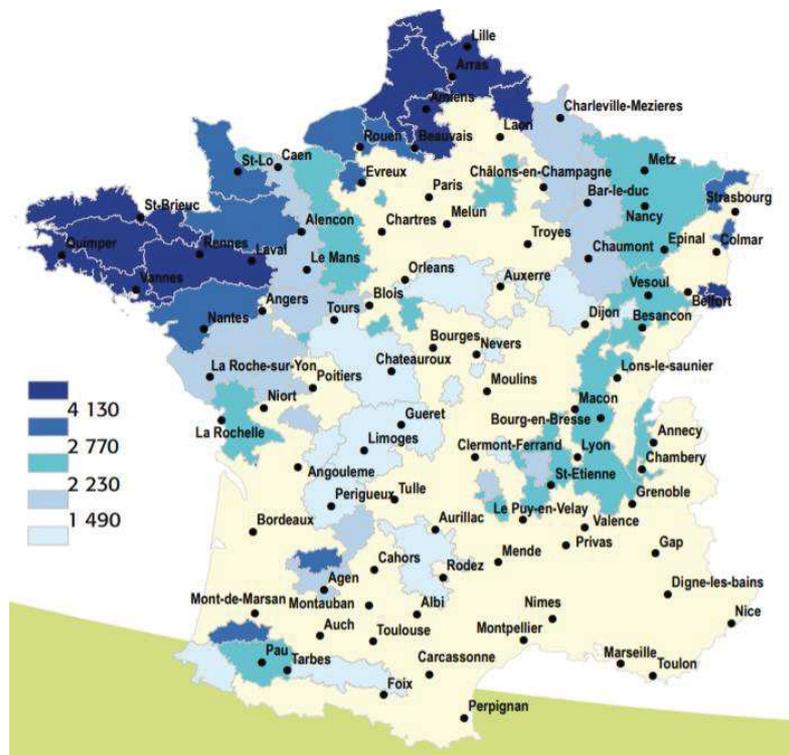


Figure 2 : Production laitière par hectare de Surface Fourragère Principale (en l/ha) (Goffart, 2011)

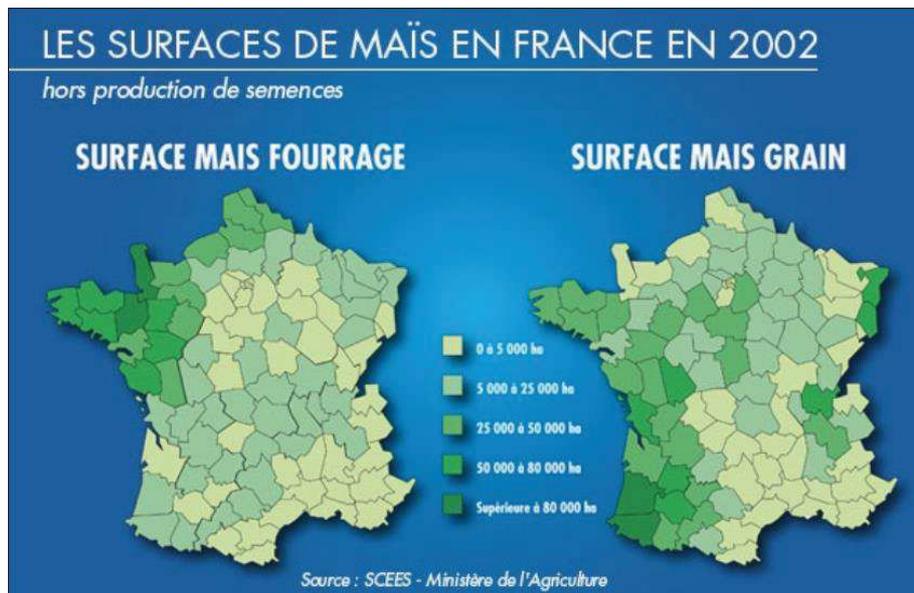


Figure 3 : Surfaces de maïs grain et maïs fourrage en France en 2002 (Gnis-Pédagogie)

2.3. Le maïs/sorgho ensilage

Le maïs, de la famille des Poacées, est la plante la plus cultivée dans le monde devant le blé et l'orge. La production est principalement destinée à l'alimentation animale avec 70 % de la production mondiale destinée à la consommation animale. En 30 ans, la production de maïs a doublé et représente aujourd'hui plus de 40% de la production mondiale de céréales avec plus de 800 millions de tonnes produites chaque année. La culture du maïs occupe un peu plus de 9 % de la surface agricole utile en France, représentant **3 200 000** hectares répartis majoritairement entre le maïs grain et le maïs fourrage (Planetoscope, 2012). Développé et utilisé depuis les années 1960 en France, l'ensilage de fourrages de printemps (maïs, sorgho) s'est imposé dans de nombreux élevages comme base de l'alimentation du troupeau. En 2018, le maïs ensilage représente environ 1,4 millions d'hectares en France métropolitaine (Agreste, 2019). Les rendements de maïs ensilage sont variables selon les régions, l'année et le type de sol. Ils se situent majoritairement entre 12 à 18 tMS/ha (Goffart, 2011).

D'après la **Fig.2** ci-contre, la production laitière se concentre plus particulièrement dans l'ouest de la France avec aujourd'hui plus de 50 % de la production nationale. La présence du maïs fourrage est fortement liée à la production laitière dans l'Ouest puisque près de 55 % des surfaces cultivées de maïs fourrage sont concentrées en Bretagne, Pays de Loire et Basse Normandie (**Fig. 3**).

Le sorgho, également de la famille des Poacées, est l'une des plus anciennes céréales cultivées. C'est la 5e céréale mondiale avec plus de 40 Mha. Elle est majoritairement cultivée en Afrique, en Inde mais aussi depuis une cinquantaine d'années en France (CIRAD - GRET, 2002). En effet, le sorgho présente plusieurs caractéristiques qui font de lui une plante présentant certains atouts agronomiques. Premièrement, le sorgho est capable de s'adapter à tous les types de sols et est moins sensible à la sécheresse, ce qui lui permet d'être cultivé dans le Sud-Est de la France. De plus, cette culture est très peu exigeante en intrants. Elle requiert tout comme le maïs l'utilisation d'herbicides en culture conventionnelle mais est moins exigeante en azote (Guyomard, 2018).

Il existe plusieurs types de sorgho. Le sorgho fourrager et le sorgho grain sont les plus cultivés en France. Le sorgho grain (60 000 ha en France (Agreste, 2019)) est principalement utilisé dans l'allongement des rotations en Occitanie et en Nouvelle-Aquitaine. Le sorgho fourrager lui est adapté à toutes les régions françaises. Il existe des sorghos fourragers mono-coupes qui s'apparentent à un maïs ensilage. Ils sont récoltés en une seule fois et sont destinés à l'alimentation animale ou à la méthanisation. D'autres variétés de sorgho fourrager sont « multi-coupes » permettant de multiples utilisations (pâturage, foin, enrubannage, ensilage) (Réussir sorgho fourrager, 2018). Les variétés multi-coupes ont un potentiel de rendement de 8 à 13 tMS/ha (Vergonjeanne, 2014).

L'objectif principal de cultiver du maïs ou du sorgho ensilage pour un éleveur laitier est de produire un fourrage en quantité et en qualité suffisantes par rapport aux besoins de son troupeau et ainsi d'éviter au maximum les importations externes à l'exploitation. Le maïs fourrage représente souvent les 2/3 de la ration annuelle chez les vaches laitières (Vergonjeanne, 2016). Afin de répondre aux besoins du troupeau, d'entretien et de production, il est indispensable que les vaches laitières reçoivent énergie et protéine en quantité suffisante dans leurs rations et de manière équilibrée.

L'énergie exprimée en UFL (1 UFL = 1700 calories) est apportée à plus de 80% par le maïs ensilage d'où l'importance d'avoir un fourrage de qualité pour que l'énergie présente dans le fourrage permette une production laitière élevée. Un des points clés se situe autour de la Matière Sèche (MS) à la récolte qui doit se situer entre **30-35% MS**. En dessous de 30% MS, les rations deviennent moins riches en amidon et devront donc être complétées en énergie. De plus, une valeur de MS faible entraîne des problèmes de conservation de l'ensilage notamment avec des écoulements de jus. Une récolte à plus de 35% MS permet des gains de rendement d'environ 0,5 tMS/ha mais dégrade la qualité du fourrage puisque l'amidon présent est beaucoup moins digestible pour les vaches laitières qui peuvent entraîner des pertes de 0,4 kg de lait par vache et par jour (Moquet, Ferard, 2018).

Cependant, le maïs ou le sorgho ensilage apporte beaucoup d'énergie à la ration mais contribue faiblement à l'apport de protéines à raison de 7% (moyenne nationale) (Chauveau, 2018). De ce fait, l'éleveur doit compléter la ration avec des produits riches en protéines tels que des tourteaux de soja qui impliquent des coûts économiques très importants pour équilibrer la ration.

Le but est donc d'étudier des associations avec le maïs ou le sorgho ensilage qui permettraient de réduire l'achat de ces compléments azotés. Mais du fait d'un système digestif complexe, il est important d'une part de conserver le taux de matière sèche du maïs pour que la valorisation du fourrage soit optimale pour les ruminants. Et d'autre part, d'adapter la ration dans le cas où le fourrage aurait un taux de protéines plus important afin de diminuer l'utilisation des concentrés azotés.

2.4. Les limites des premières associations du maïs/légumineuses couramment cultivées en France métropolitaine

Historiquement, les mélanges céréales/protéagineux, produits sur des terres à faibles potentiels, ont été progressivement délaissés au milieu du XIX^{ème} siècle, au profit de céréales pures (blé tendre, maïs ensilage). Un des éléments déclencheurs de la réapparition de mélanges à plus grande échelle est le développement de l'agriculture biologique notamment au sein des exploitations d'élevage (Bedoussac *et al.*, 2015). Depuis une dizaine d'année, les crises récurrentes de la filière élevage et l'augmentation du prix des protéines dans l'alimentation amènent de plus en plus d'éleveurs à essayer d'intégrer des méteils grains ou fourrages sur leur exploitation. Nécessitant peu d'intrants, ces cultures s'intercalent facilement dans les assolements et peuvent permettre de produire un fourrage en quantité et de qualité. Depuis quelques années, les structures de conseil mettent en avant ces cultures dans l'amélioration de l'autonomie alimentaire des exploitations, avec de forts atouts économiques et environnementaux (AFPF, 2018).

L'association culturale est par définition le fait de cultiver des espèces différentes simultanément sur la même parcelle. Le but de ces mélanges est de maximiser l'utilisation des ressources via une complémentarité entre les espèces associées (Hinsinger, 2012). Les atouts agronomiques sont nombreux (gérer le salissement, fixation d'azote, tuteur...) mais il est important de bien réfléchir l'association culturale afin que les espèces ne rentrent pas en concurrence pour les différents facteurs du milieu : l'eau, la lumière et les éléments minéraux. De plus, le choix des espèces et des variétés ayant des dates de semis et de récolte identiques est une autre contrainte qu'il faut prendre en considération.

	Modalités	Semis de la plante associée	Densité semis en grains /m ²	Concurrence sur le maïs	Maturité de la plante associée à la récolte	% MS du mélange	Rdt du mélange (tMS/ha)	Dont rdt plante associée (tMS/ha)	% MAT
2013	Maïs + Féverole	En même temps que le maïs	11 + 22	Très forte	Plantes sèches mais gousses pleines	33.2	10.4	4	10.6
	Maïs + Vesce + Pois fourrager		11+12+18	Moyenne	Plantes sèches et versées	27.2	9.1	0.6	7.3
	Maïs + Soja		11 + 35	Faible	Absentes	27.5	17.1	0.2	7.5
	Maïs pur	1 ^{er} mai	11	/	/	27.2	18.1	/	7.6
2014	Maïs + Féverole	6 semaines après le maïs	11 + 22	Faible	Absentes	/	/	/	/
	Maïs + Haricot tarbais		11 + 5.5	Faible	Plantes vertes	29	17.6	0.4	7.9
	Maïs + Colza fourrager		11 + 5 kg/ha	Faible	Plantes vertes maïs peu développées	/	/	/	/
	Maïs + Trèfle d'Alexandrie		11 + 12kg/ha	Faible	Plantes vertes maïs peu développées	/	/	/	/
	Maïs pur	18 mai	11	/	/	27	17.1	/	7.6
2015	Maïs + Féverole	7 jours après le maïs	9.6 + 22	Faible (maïs salissement fort impactant)	Absentes	/	/	/	/
	Maïs + Haricot tarbais		9.6 + 4.5		Plantes vertes	32.2	14.1	0.6	7.4
	Maïs + Soja		9.6 + 35		Absentes	/	/	/	/
	Maïs + Lupin		9.6 + 30		Absentes	/	/	/	/
	Maïs + Trèfles violet, Alexandrie, incarnat		9.6 + 14 kg/ha		Détruites par binage car salissement fort	/	/	/	/
	Maïs pur	13 mai	9.6	/	/	30.2	17	/	8

intéressant intermédiaire décevant

Figure 4 : Synthèse des résultats d'essais du programme Reine Mathilde sur des associations du maïs ensilage avec des plantes associées sur 3 ans dans le Calvados (Guimas et al., 2015)

Le cycle de développement du maïs ensilage est très court, grâce à un système de photosynthèse spécifique qui lui permet de très bien valoriser la lumière et la chaleur. De plus le maïs est très dépendant de la disponibilité en azote, les espèces associées ne doivent pas trop le concurrencer sur cet élément. Il constitue un fourrage simple à produire et relativement stable. Cependant, le maïs contient en moyenne 7 % de MAT, c'est-à-dire bien moins que l'herbe et pas suffisamment pour répondre aux besoins azotés du bovin. De ce fait, des études se sont consacrées à intégrer avec le maïs ensilage des plantes associées peu consommatrices en azote et ayant une bonne valeur alimentaire dans le but d'augmenter les protéines dans le mélange sans concurrencer le développement du maïs. La plupart des études sur ce thème s'est effectuée en conditions tropicales et équatoriales sur des associations maïs-soja (aussi appelée association « maya »). Peu d'études se sont consacrées à l'adéquation entre les espèces de légumineuses à graines et le maïs ensilage du point de vue de la longueur des cycles. Les auteurs (Chapot, 1990 ; Guimas et al., 2015) se sont donc intéressés à des plantes cultivées sur le territoire métropolitain ayant une forte valeur énergétique et azotée ainsi qu'une digestibilité élevée (vesce, pois, lupin soja, trèfle, haricot tarbais...).

Les premières études sur ces associations menées sur 4 légumineuses (pois, lupin, féverole, haricot) dans les années 90 n'ont pas montré de gain de productivité en rendement par rapport au maïs pur. En effet, le pois et le lupin possèdent un cycle trop court par rapport au cycle de développement du maïs ensilage. Cela entraîne des rendements inférieurs par rapport au maïs cultivé seul dus au dessèchement du lupin et du pois au moment de la récolte. De plus, le lupin est très sensible à la verse et sa culture est limitée au sol acide. Le décalage de la date de semis de 6 semaines par rapport au maïs pour la féverole permet d'avoir des feuilles encore vertes à la récolte mais la contribution de celle-ci au rendement est très faible, ce qui ne permet pas d'augmenter le taux de protéines du mélange. Les meilleurs résultats ont été obtenus avec le haricot d'Espagne (*Phaseolus coccineus*) avec des rendements similaires à un maïs pur et des feuilles encore bien vertes à la récolte (Chapot, 1990)

Le programme Reine Mathilde (Guimas *et al.*, 2015) a testé en Normandie diverses associations durant 4 ans pour déterminer l'espèce la mieux adaptée en association avec du maïs ensilage en vue d'enrichir sa teneur en protéines. Sur les 7 plantes associées testées avec le maïs entre 2013 et 2015, seulement 2 présentent des pistes intéressantes (la féverole et le haricot tarbais). La féverole permet un gain en MAT assez élevé (+ 3 points par rapport au maïs pur) mais comme dans l'étude précédente, le rendement est très affecté (perte de 70 q/ha). En ce qui concerne le haricot tarbais, il permet d'obtenir des rendements similaires mais des valeurs de MAT égales par rapport au maïs pur (**Fig.4**).

Les plantes associées testées montrent de nombreuses limites. Des problèmes de salissement de la culture ainsi que de dessèchement précoce ou même d'absence de la plante compagne à la récolte sont les problèmes majeurs rencontrés. De plus, la majorité des espèces ne permettent pas d'atteindre le taux de protéines escompté. Il semble donc intéressant de se tourner vers d'autres espèces non cultivées en France et qui permettraient de répondre à ces problématiques.

Tableau 1 : Production de biomasse fourragère dans les systèmes de cultures associées avec le sorgho comparés au sorgho seul dans des conditions pédo-climatiques variées. (Iqbal *et al.*, 2019)

Système de culture associée	Pays	Rendement sorgho pur (tMF/ha)	Rendement culture associée (tMF/ha)	Variation de biomasse fraîche par rapport au sorgho seul (%)	Rendement sorgho pur (tMS/ha)	Rendement culture associée (tMS/ha)	Variation de biomasse sèche par rapport au sorgho seul (%)
Sorgho + Cowpea en proportion 100 : 100 (Abusuwar et Ahmed, 2012)	Arabie Saoudite	NA	NA	18	NA	NA	NA
Sorgho + Cowpea en proportion 70 : 30 (Zamir <i>et al.</i> , 2016)	Pakistan	59,9	73,6	22,8	15,1	17,1	13
Sorgho + Cowpea avec un ratio de 2 lignes sur 2 (Sharma <i>et al.</i> , 2009)	Inde	NA	NA	28	NA	NA	NA
Sorgho + Cowpea en rangs alternés (Makoi et Ndadikemi, 2010)	Afrique du Sud	NA	NA	40	NA	NA	NA
Sorgho + Cowpea avec un ratio de 2 lignes sur 1 (Surve <i>et al.</i> , 2012)	Inde	39,76	50,62	27,3	14,16	17,41	23
Sorgho + Cowpea en rangs alternés (Akhtar <i>et al.</i> , 2013)	Pakistan	49,66	69,98	40,9	20,5	25,37	24
Sorgho + Cowpea avec un ratio de 1 rangée sur 1 (El-Sarag, 2013)	Egypte	NA	NA	9	NA	NA	NA
Sorgho + Cowpea avec un ratio de 2 rangées sur 1 (Rathore, 2015)	Inde	NA	NA	32	NA	NA	NA
				Moyenne : 33 Médiane : 27,8			

Tableau 2 : Valeurs nutritives des fourrages mélangés dans les systèmes de cultures associés en sorgho/maïs comparés au sorgho/maïs seul dans des conditions pédo-climatiques variées

Système de culture associée	Pays	Rendement de référence de la céréale cultivée seule en tMS/ha	Variation du taux de MAT (%) en nombre de points par rapport à la culture pure du sorgho ou du maïs	Rendement de l'association en % de la céréale cultivée seule
Sorgho + Cowpea avec un ratio de 3 rangées sur 1 (Pathak <i>et al.</i> , 2013)	Inde	10,2	0,5	120 %
Sorgho + Lablab (Juntanam <i>et al.</i> , 2013), récolte 60 J après semis	Thaïlande	1,32	6,4	104 %
Maïs + Cowpea avec un ratio de 1 rangée sur 1 (Pathak <i>et al.</i> , 2013)	Inde	10,02	0,6	114 %
Maïs + Cowpea avec un ratio de 2 rangées sur 1 (Pathak <i>et al.</i> , 2013)	Inde	10,02	0,6	117 %

2.5. Les légumineuses tropicales pressenties candidates

2.5.1. Les essais dans le Monde

Les associations culturales du maïs ou du sorgho ensilage avec des légumineuses tropicales ont beaucoup été testées dans le monde entier pour différentes raisons (Husson *et al.*, 2010) :

- Augmentation de la fertilité des sols
- Maîtrise des adventices via une meilleure couverture du sol
- Augmentation de la quantité et de la qualité du fourrage
- Meilleure gestion des maladies
- Apport d'azote par la légumineuse
- Rentabilité économique

Des expériences conduites à l'International avec le maïs et le sorgho ensilage ont montré l'intérêt de cultiver du Lablab ou du Cowpea en association avec du maïs. Les premiers essais ont été menés en Afrique d'où sont originaires ces 2 légumineuses. Quelques expérimentations ont aussi été conduites en Asie et dernièrement aux Etats-Unis.

→ Effet de l'association sur la productivité

Une méta-analyse réalisée par (Iqbal *et al.*, 2019) a porté sur un regroupement des résultats d'essais d'association **sorgho/Cowpea** dans différentes zones du globe. Il en ressort une forte augmentation de la biomasse fraîche récoltée pour les associations par rapport au sorgho cultivé seul. Le gain de productivité est en moyenne de 33 % (**Tab.1**). Les plus fortes augmentations de biomasses récoltées sont observées lorsque le Cowpea est cultivé en rangs alternés avec le sorgho.

Deux études réalisées en Afrique indiquent que l'association **maïs/Cowpea** génère des gains de rendement par rapport au maïs cultivé en culture pure. Au Burkina Faso, Coulibaly *et al.*, 2012 signalent que sur la sole d'association maïs/légumineuse, la biomasse produite peut être augmentée de plus 22 % comparativement à la sole de culture pure de maïs. Au Mali, cette association a permis un gain de rendement d'environ 10% (Coulibaly *et al.*, 2017). Pour l'association maïs/Cowpea, la densité la plus performante techniquement correspond à un mélange des deux espèces à leurs densités en culture pure (Dahmardeh *et al.*, 2009).

(Hassen *et al.*, 2006) ont mesuré que l'association **maïs/Lablab** génère une augmentation de production d'environ 10% par rapport au maïs seul. Mais les résultats de Armstrong *et al.*, 2008 indiquent que le rendement en fourrage des mélanges de maïs et de Lablab est largement déterminé par la densité du maïs et que l'addition de Lablab même en forte densité ne permettra pas d'augmenter le rendement en MS des mélanges par rapport au maïs cultivé en culture pure.

→ Effet de l'association sur le taux de MAT des fourrages

Des études conduites en régions tropicales ont montré que l'association du maïs ou du sorgho ensilage avec du Lablab ou du Cowpea permettait des gains de MAT variables (de 0.5 à 6,4 points) (**Tab.2**). De plus, l'étude de (Armstrong *et al.*, 2008) conduite aux Etats-Unis a montré les bénéfices d'associer du maïs à des haricots grimpants (*Lablab purpureus*, *Mucuna pruriens* et *Phaseolus coccineus L.*) inoculés avec des rhizobia appropriés. Le Lablab cultivé avec du maïs offre le potentiel le plus important d'augmentation des MAT (+ 13% soit 0,5 points) en augmentant également le rendement fourrager de l'ordre de 1 tMS/ha. Dans les conditions de test, le semis du Lablab décalé de 4 semaines par rapport au semis du maïs a

procuré les meilleurs résultats. Les simulations économiques indiquaient un gain potentiel de production des vaches laitières.

Une étude de la même équipe (Armstrong, Albrecht, 2008) a exploré l'optimisation des densités respectives de l'association maïs/Lablab et leurs conséquences sur le rendement fourrager et la MAT. Il ressort que sur des conduites qui visent à maximiser le rendement (à savoir des densités de maïs de 80 000 pieds/ha), le Lablab occasionne une baisse du rendement fourrager (entre 1 à 2 T tMS/ha) et une augmentation de la MAT de l'ordre de 0,5 points. Les gains les plus significatifs de MAT (2,2 points) sont obtenus pour une densité de maïs de 20 000 pieds/ha et 80 000 pieds/ha de Lablab, mais avec une baisse du rendement fourrager de 9 tMS/ha (-45 %).

→ Effet de l'association sur la concurrence vis-à-vis des adventices

Les études sur la concurrence vis-à-vis des adventices sont encore peu nombreuses et difficiles à évaluer mais (Kermah *et al.*, 2017) ont mesuré que l'association maïs/Cowpea permettait d'augmenter le rendement de 20 % et de réduire de 46 % la biomasse des adventices.

→ Digestibilité des fourrages

Des études ont montré des effets positifs du foin de Lablab sur l'alimentation du bétail (Contreras-Govea *et al.*, 2011). Le foin de Lablab permettrait d'augmenter l'apport total en matière sèche et la digestibilité de celle-ci par rapport à des régimes sans supplémentation de foin de Lablab. Ce foin engendrerait une augmentation des apports de Ca, P et Mg (Mpairwe *et al.*, 2003). Mais une autre étude de (Contreras-Govea *et al.*, 2009) estime que ce constat au niveau de la digestibilité n'est pas toujours vérifié.

Ces essais conduits à l'international indiquent des résultats contradictoires en conditions tropicales. Il semble cependant intéressant d'analyser les effets de ces associations culturales sur le territoire métropolitain au vu du potentiel de ces associations sur certains essais. De plus, dans un contexte de réchauffement climatique, ces associations pourront permettre un compromis entre la production et les épisodes de sécheresse estivale de plus en plus fréquents.

2.5.2. La vision des semenciers

En 2016, la société semencière Semental située dans la Sarthe commercialise deux variétés de légumineuses tropicales : le Rongaï (*Lablab purpureus*) et le Black Stalion, variété de *Vigna unguiculata*, couramment appelé Cowpea. Ces deux variétés ont été importées par Semental d'Australie en 2015. Des premiers essais ont été effectués chez quelques éleveurs. Elles étaient tout d'abord vendues comme fourrages d'été car contrairement aux fourrages tels que le trèfle d'Alexandrie ou le trèfle vésiculé, elles présentent une rusticité plus importante notamment lors des périodes de sécheresse. De plus, ces 2 espèces possèdent de très bons taux en protéines, ce qui permet un bon complément à la ration. En 2018, c'est entre 2000 et 3000 hectares de mélanges qui ont été semés sur le territoire métropolitain.

À ce jour, Semental préconise d'associer le maïs avec le Lablab et le sorgho avec le Cowpea, car les essais maïs/Cowpea ne permettent pas des rendements convenables. Le premier bilan de 2018 est contrasté, malgré une absence de nodosités observée, il semble y avoir une interaction avec le maïs (le Lablab est bien vert à la récolte et plus haut que le maïs). Il semble ressortir d'après les éleveurs ayant mis en place ce mélange une amélioration de l'appétence sur le troupeau, une augmentation des taux butyreux et protéique ainsi qu'une baisse de la consommation du tourteau de soja de l'ordre de 15 % (SEMENTAL, 2018). Cette baisse de consommation serait due à la qualité nutritive du fourrage puisque Semental précise qu'une valeur de MAT de 9 à 12 points peut être obtenue (SEMENTAL, 2019).

Autre point, ce fourrage permettrait d'augmenter le taux de fibres et donc d'améliorer la rumination tout en réduisant l'acidose. Enfin les minéraux tels que le Calcium et le Phosphore seraient bien plus importants dans ce type de fourrage.

Ces associations semblent donc permettre d'augmenter de manière significative la qualité du fourrage et donc de permettre à l'éleveur de diminuer les achats de concentrés et ainsi faire un gain économique non négligeable. Mais, un des points non éclairci par la société Semental est la capacité de ces associations à obtenir les mêmes rendements qu'en maïs pur. De plus, il semble primordial pour les éleveurs de savoir si les interventions mécaniques, les intrants et le coût de la semence engendrés par cette plante associée sont compensés par le gain en protéines. En effet, l'itinéraire conseillé reste consommateur en intrants avec des doses de plus de 200 unités d'N et plus de 100 unités de P et K. Il faut ajouter à cela les interventions de désherbage, d'insecticide et le coût de la semence supplémentaire.

2.6. Problématique

Dans un contexte de réduction des coûts dans les élevages (diminution des achats de concentrés, des intrants pour la production des fourrages), l'association d'une céréale fourragère (maïs ou sorgho) avec des légumineuses semble une opportunité intéressante.

Le rôle de la CRANA est d'apporter une réponse argumentée sur la faisabilité et l'intérêt de ces associations auprès des éleveurs et conseillers de la région. L'objectif est de répondre à la problématique :

Quelles sont les possibilités et les intérêts agronomiques, économiques et environnementaux d'associer du maïs ou du sorgho ensilage à des légumineuses tropicales pour les éleveurs dans le Sud-Ouest de la France ?

Cette étude vise à compiler un maximum de références afin de répondre à différentes questions :

- Quelles sont les espèces/variétés pouvant être associées au maïs ou au sorgho ensilage en fonction de leurs différents traits physiologiques ?
Les espèces retenues permettront de mettre en place des essais dans les années à venir.
- Quels sont les itinéraires techniques les plus pertinents (méthode et densité de semis, désherbage, fertilisation, ...) ?
Ils aideront à conseiller au mieux les éleveurs souhaitant mettre en place ce type d'association pour que la réussite de celle-ci soit optimale.
- Cette technique est-elle intéressante en France métropolitaine ? Quelles sont les performances agronomiques (rendement, valeur alimentaire), économiques et environnementales de ces associations ?
Ceci permettra de savoir s'il est intéressant économiquement pour les éleveurs de mettre en place ce type d'association dans le Sud-Ouest de la France.
- Ces légumineuses tropicales sont-elles capables de valoriser l'azote via la fixation symbiotique ?
Cette analyse indiquera les possibilités concernant l'inoculation des espèces concernées.
- Quelles sont les thématiques à travailler dans les années à venir pour développer cette technique ?
Cette étude doit permettre à la Chambre Régionale d'Agriculture de Nouvelle Aquitaine de finaliser un projet R&D.

Tableau 3 : Sources d'informations de l'étude

Informations recherchées	Sources d'informations
Contexte sur l'autonomie protéique et le maïs/sorgho ensilage	Bibliographie
Travaux de références sur les associations	Bibliographie, conseillers agricoles
Physiologie sur les légumineuses tropicales	Bibliographie, conseillers agricoles, éleveurs, semenciers
Critères d'exclusion	Bibliographie, conseillers agricoles, éleveurs
Capacité de nodulation	Bibliographie, chercheurs, éleveurs
Références techniques sur ces associations	Conseillers agricoles, éleveurs, semenciers

Tableau 4 : Liste des informations demandées aux éleveurs

Informations générales sur l'exploitation	<ul style="list-style-type: none"> - UGB - production de lait - Assolement 2018-2019 - Conduites des cultures (utilisation d'intrants, travail du sol) - Types d'associations mises en place - Nombre d'années
Itinéraire Technique (ITK) de la culture associée	<ul style="list-style-type: none"> - Type de sol : profondeur, RU, matière organique - Précédent : Date de récolte, rendement, fertilisation - Semis : Date, densité, écartement, variété, matériel utilisé, difficulté, profondeur - Intervention : fertilisation, désherbage, irrigation - Récolte : Date, rendement, matériel, valeur alimentaire, problèmes
ITK de la culture pure	<ul style="list-style-type: none"> - Semis : Date, densité, écartement, variété, matériel utilisé, difficulté, profondeur - Intervention : fertilisation, désherbage, irrigation - Récolte : Date, rendement, matériel, valeur alimentaire, problèmes
Effets agronomiques de la culture associée	<ul style="list-style-type: none"> - Objectifs de la culture associée - Effets bénéfiques de l'association : azote, adventices - Développement de la plante associée en cours de culture et à la récolte - Approvisionnement en semences - Présence/Absence de nodosités - Importance de la charge de travail - Avantages/Inconvénients
Effets du fourrage sur le troupeau	<ul style="list-style-type: none"> - La ration donnée au pic de lactation - Le pourcentage de fourrage/concentré dans la ration - Les concentrés achetés - L'effet de l'association sur le taux de protéines - Les problèmes de conservation/distribution - Effet sur les bovins : appétence, état de forme, production de lait
Perspectives	<ul style="list-style-type: none"> - Avenir de ces cultures associées sur l'exploitation - Autres tests de prévus - Idées/Suggestions - Contacts d'autres agriculteurs/conseillers

3. Matériel et méthodes

3.1. Sources d'informations et outils de collecte

Afin de recueillir un maximum d'informations sur ces associations maïs/sorgho ensilage et légumineuses tropicales, plusieurs sources d'informations ont été utilisées (**Tab.3**)

3.1.1. Bibliographie

Une étude bibliographique a permis de rassembler les informations sur les espèces pressenties candidates et les différentes expériences conduites à l'international. L'objectif était de définir les caractéristiques physiologiques de ces espèces tropicales et de confirmer la faisabilité et l'intérêt d'associer ces légumineuses tropicales dans l'optique de produire un fourrage en quantité et en qualité supérieure par rapport au maïs pur. Cette étude avait aussi pour but de rechercher les intérêts agronomiques de ces espèces.

3.1.2. Personnes « ressources »

Des personnes « ressources » travaillant dans divers organismes de recherche et de développement ont été contactées en France, dans les DOM-TOM ainsi qu'en Afrique. Le but étant de compiler le maximum de références sur les associations maïs/sorgho ensilage avec des légumineuses tropicales.

➔ Les conseillers agricoles :

Des conseillers en productions végétales et animales ont également été mobilisés par mail, par téléphone et en entretien physique dans le but de fournir des retours terrains et des résultats d'essais ayant déjà été mis en place. De plus, ils ont permis de fournir une liste d'éleveurs ayant testés ces associations sur tout le territoire métropolitain.

➔ Les éleveurs :

Les éleveurs ayant mis en place des associations maïs/sorgho ensilage avec du Lablab ou du Cowpea ont été enquêtés soit en entretien physique, soit en entretien téléphonique lorsque ces éleveurs étaient à plus de 3 heures de route. Le questionnaire d'enquête a été établi en 4 grandes parties afin de recueillir toutes les informations nécessaires à la description de l'exploitation, à la description de l'itinéraire technique, au développement de la culture ainsi qu'aux effets du fourrage sur le troupeau (**Tab.4**). L'ensemble des questions de cette enquête est présenté en **Annexe I**.

➔ Les chercheurs :

Les chercheurs de différentes unités de recherches ont été contactés par mail et par téléphone afin d'avoir des informations sur les questions de symbiose et d'inoculation de ces légumineuses tropicales.

➔ Les semenciers :

Des contacts par mail ainsi que par entretien physique ont été établis avec des sociétés semencières travaillant sur les fourrages dans l'optique d'avoir des retours sur les semences de légumineuses tropicales développées pour l'association avec le maïs ou le sorgho ensilage.

Les informations recueillies grâce aux diverses personnes ressources ont été compilées dans un tableur Excel afin d'être analysées.

3.2. Choix des cultures : définition des critères de sélection

A partir de la bibliographie et des objectifs donnés à l'association, différents critères de sélection ont pu être définis afin que la plante associée avec le maïs ou le sorgho induise un fourrage en quantité ainsi qu'en qualité supérieure à un maïs pur.

Pour cela, la plante associée devra répondre à différents critères agronomiques :

➔ **Fort taux de protéines en culture pure (>14%)**

L'intérêt principal d'ajouter une plante compagne avec le maïs est d'augmenter la teneur en protéine du mélange récolté dans l'optique de réduire l'achat des compléments azotés. L'objectif est d'augmenter de 50 % le taux en protéines dans le mélange récolté sachant que le maïs contient en moyenne 7 % de MAT. De ce fait, le taux de protéines de la plante associée en culture pure devra être supérieur à 14 % afin que la présence de cette espèce induise une augmentation significative du taux de MAT (+ 3 points) dans le fourrage dans la mesure où le mélange récolté contient 50% de maïs et 50% de la plante associée.

➔ **Un cycle végétatif supérieur à 120 jours**

Avec un besoin en température dépendant de leurs précocités, la durée moyenne du cycle du **maïs** et du **sorgho ensilage** depuis son implantation est de 4 mois (~120 jours). De ce fait, pour viser un stade récolte en « vert » et ainsi une quantité importante de biomasse, le cycle végétatif de l'espèce associée nécessitera un cycle végétatif supérieur à 120 jours.

➔ **Une hauteur supérieure à 1 mètre à la récolte**

Pour des raisons de récolte, les plantes associées devront avoir un développement aérien d'au moins un mètre à la récolte. En effet, la hauteur de coupe standard du maïs ou du sorgho ensilage se situe aux alentours de 15 centimètres (Arvalis, 2015). Afin d'avoir une forte proportion de la plante associée dans le mélange récolté, il est donc nécessaire qu'elle est un développement aérien assez important.

➔ **Ne pas être toxique pour le bétail**

Cette étude se concentre sur le maïs et le sorgho ensilage. Ainsi, les cultures associées seront données comme alimentation aux animaux. Il existe de nombreuses plantes toxiques pour le bétail. Il est donc primordial de s'assurer que la plante associée avec le maïs ne présente aucune substance toxique pouvant être dangereuse pour les animaux.

➔ **Robuste et peu consommatrice en intrants / capacité à être associée**

De plus, dans un contexte de réchauffement climatique et de limitation des intrants sur les cultures, la capacité de la plante associée à pousser en conditions limitantes (eau, azote, ...) serait d'autant plus intéressante.

Tableau 5 : Récapitulatif des indicateurs utilisés sur les tests éleveurs et les expérimentations

		Tests éleveurs	Expérimentations
Indicateurs qualitatifs	Semis	X	
	Densité de semis	X	X
	Levée	X	X
	Fertilisation	X	X
	Désherbage	X	
	Appétence du fourrage	X	
Indicateurs quantitatifs	Rendements		X
	Teneur en MAT		X
	Quantité de protéines produites par unité de surface		X
	Facteurs limitants		X
	Indicateurs économiques		X

3.3. Analyse des expériences

L'analyse des expériences recueillies s'est effectuée de deux manières différentes. D'une part, les enquêtes réalisées auprès des éleveurs ont été synthétisées dans un tableau en tenant compte du type de culture principale étudié (maïs/sorgho ensilage) ainsi que de l'espèce associée. Ces enquêtes ont permis d'analyser les multiples itinéraires techniques mis en place par les éleveurs sur ce type d'association et d'en déduire un (ou plusieurs) itinéraire(s) technique(s) intéressant(s). Elles permettent également de définir les difficultés / faiblesses des associations influençant le rendement en quantité ou en qualité de fourrage.

En parallèle, une analyse qualitative de la conduite culturale (développement de la culture, problèmes à la récolte, présence/absence de nodosités) et de la consommation du fourrage par le troupeau (appétence, refus..) a été menée afin d'appréhender les avantages et inconvénients de la production de ce fourrage par les éleveurs.

3.4. Mode d'évaluation de chaque expérience

Les contacts établis auprès des conseillers des Chambres d'Agriculture ont permis de rassembler de nombreuses expériences mises en place sur tout le territoire métropolitain. Ces données ont été analysées par le calcul de différents indicateurs agronomiques, économiques et environnementaux. Elles permettront d'établir des premières références sur les rendements, les teneurs en protéines atteintes et l'intérêt économique de ces associations.

Deux types d'expérience ont ainsi pu être récoltés et sont définis de la manière suivante :

- Les expériences mises en place par les éleveurs où seule la culture associée a été testée seront appelées les « **tests éleveurs** ». Elles serviront essentiellement à l'analyse des itinéraires techniques et à l'analyse qualitative.
- Les expériences mises en place par les organismes de développement où la comparaison de la culture associée avec la culture pure (témoin) a été effectuée seront appelées les « **expérimentations** ». Ce sont des expériences plus complètes qui permettront la comparaison des indicateurs agronomiques ainsi que l'analyse économique.

Le **Tab.5.** indique les différents indicateurs qualitatifs et quantitatifs obtenus à partir des 2 expériences.

Les indicateurs **agronomiques** (valeurs absolues) et **économiques** (valeurs relatives) pourront être évalués en 4 points à partir des expérimentations recensées :

➔ Comparaison des rendements

La comparaison des rendements sera effectuée sur les expérimentations. En effet, chez les éleveurs enquêtés, il n'y a pas eu de pesées précises (estimation du rendement par les éleveurs car la récolte des bandes testées s'est effectuée en même temps que le maïs). Les estimations de rendements chez les éleveurs ne seront donc pas analysées. La moyenne des rendements de matière sèche obtenue en culture pure est donc comparée à la moyenne des rendements obtenue en culture associée de manière à savoir si la culture associée permet un gain de rendement par rapport à la culture pure.

$$\Delta\text{CO}_{(\text{€}/\text{ha})} = [\text{CO}]_{\text{maïs associé}}(\text{€}/\text{ha}) - [\text{CO}]_{\text{maïs pur}}(\text{€}/\text{ha})$$

Figure 5 : Equation du calcul du delta des charges opérationnelles (€/ha)

$$\Delta\text{Protéines}_{(\text{kg}/\text{ha})} = [\text{Protéines}_{(\text{kg}/\text{ha})}]_{\text{maïs associé}} - [\text{Protéines}_{(\text{kg}/\text{ha})}]_{\text{maïs pur}}$$

Figure 6 : Equation du calcul du delta de protéines produites par unité de surface (kg/ha)

$$\text{Rentabilité}_{(\text{€}/\text{ha})} = \Delta\text{Protéines}_{(\text{kg}/\text{ha})} * \text{Prix Tourteau de soja}_{(\text{€}/\text{kg})} - \Delta\text{CO}_{(\text{€}/\text{ha})}$$

Figure 7 : Equation du calcul de rentabilité de la culture associée (€/ha)

$$\text{Rendement}_{\text{association}}(\text{tMS}/\text{ha}) = \frac{\left(\text{Rendement}_{\text{pur}}\left(\frac{\text{tMS}}{\text{ha}}\right) * \text{MAT}_{\text{pur}}(\%) \right) + \left(\text{CO}_{\text{association}}\left(\frac{\text{€}}{\text{ha}}\right) * \text{Prix}_{\text{tourteau de soja}}\left(\frac{\text{€}}{\text{kg}}\right) \right)}{\text{MAT}_{\text{variable}}(i)}$$

Avec (i) variant de 6.5 à 9 %

Figure 8 : Equation permettant l'extrapolation des valeurs de rendement et de MAT à atteindre pour rentabiliser l'association (tMS/ha)

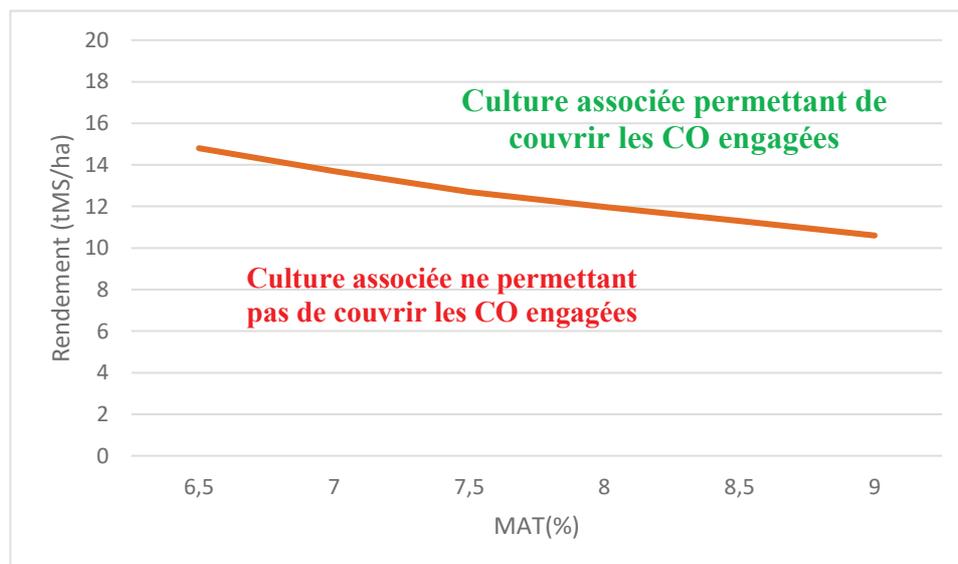


Figure 9 : Graphique exemple présentant le rendement et la valeur de MAT à atteindre permettant d'équilibrer les charges opérationnelles engagées de la culture associée

→ Comparaison des taux de MAT

La comparaison des taux de MAT sera analysée sur les expérimentations. Cette analyse permettra d'identifier si la culture associée permet de récolter un fourrage de meilleure qualité.

→ Comparaison de la quantité de protéines produites à l'hectare

La quantité de protéines produites par surface sera calculée sur les expérimentations. Afin d'estimer les quantités de protéines produites à l'hectare, le rendement sera multiplié par la teneur en MAT du fourrage récolté. La moyenne de la quantité de MAT obtenue en culture pure sera ainsi comparée à la moyenne de la quantité obtenue en culture associée. Ceci permettra de savoir si la culture associée permet de produire plus de protéines par unité de surface par rapport à la culture pure.

Pour ces 3 paramètres agronomiques, les moyennes ainsi que les erreurs standards seront calculés.

→ L'analyse économique

Après avoir calculé les différents indicateurs agronomiques, l'impact économique lié à l'implantation d'une plante compagne pourra être évalué. Pour ce faire, plusieurs étapes sont nécessaires.

Etape 1 : Le Δ des charges opérationnelles sera calculé et permettra d'obtenir le coût supplémentaire induit par l'introduction de la plante associée avec le maïs. Il prendra en compte le coût de semence, la fertilisation, l'irrigation, les produits phytosanitaires et enfin les différentes interventions mécaniques mises en place sur la parcelle. Les charges opérationnelles seront calculées sur chaque expérimentation pour la culture pure et pour la culture associée afin d'obtenir le Δ . Ce coût sera calculé selon la **Fig. 5**.

Etape 2 : Sur chaque expérimentation, les gains ou les pertes de protéines par unité de surface de la culture associée par rapport à la culture pure seront estimés selon la **Fig. 6**.

Etape 3 : Cette étape consistera à convertir ce delta de protéines en valeur monétaire économisé ($\Delta\text{Protéines} > 0$) ou dépenser ($\Delta\text{Protéines} < 0$). Le tourteau de soja nous servira de concentré de référence car c'est le complément azoté le plus utilisé par les éleveurs pour compléter les rations. La valeur en euro de 1 kg de protéines produites pourra ainsi être estimée en multipliant le prix du tourteau de soja au delta de protéines. Les prix en conventionnel et en bio du tourteau de soja seront utilisés.

Etape 4 : Cette dernière valeur sera soustraite au surcoût des charges opérationnelles afin d'obtenir la rentabilité de la culture associée par rapport à la culture pure. La **Fig.7** résume les 4 étapes listées ci-dessus.

A partir des moyennes des rendements et des taux de MAT obtenus en culture pure, il sera possible d'évaluer les rendements et les taux de MAT à atteindre en culture associée afin que l'implantation de la culture associée devienne rentable pour l'éleveur toujours en se basant sur le prix du tourteau de soja. Pour ce faire, l'équation (**Fig.8**) sera utilisée.

Ces valeurs permettront de simuler des baisses de rendements de la culture associée et des hausses de la valeur de MAT par rapport à la culture pure (**Fig.9**).

Tableau 6 : Cultures non retenues en fonction des critères de sélection

Espèces non retenues	Teneur en MAT trop faible	Cycle trop court	Développement aérien trop faible	Toxicité	Manque d'expériences ou d'informations en cultures associées
Haricot commun			X		X
Soja		X			
Crotalaire				X	X
Seradelle			X		X
Haricot d'Espagne					X
Luzerne		X			
Pois		X			
Lupin		X			
Féverole		X			

Tableau 7 : Caractéristiques des légumineuses associées sélectionnées pour l'étude (Inspiré du travail de DUPUY Laura CA 24)

Espèce	Cowpea	Lablab	Haricot Tarbais
Variété	Black stalion	Rongaï	Alaric
Port	Dressé	Rampant/Volubile si tuteur	Volubile si tuteur
Hauteur/longueur	0,7 à 1,5 m	3 à 5 m	2 à 3 m
PMG	66 g	220 g	585g
Type de sol	Non adapté aux terres lourdes et aux sols très calcaires pH : 5 - 8 Bonne tolérance à la sécheresse	Adapté à tous les types de sols pH : 4.5 - 8 Bonne tolérance aux sols acides et la sécheresse	Adapté à tous les types de sols Préférence pour les sols aérés et peu tassés
Date de semis	Sur sol réchauffé (12°C), pas avant début mai		
Densité de semis	10 kg/ha	15 à 20 kg/ha	30 à 50 kg/ha
Températures optimales	25 à 35°C (minimum 10°C)	18 à 30°C (minimum 3°C)	15 à 30 °C
Nombre de jours de végétation avant floraison	120 - 140 jours	130 – 140 jours (floraison si lumière < 11 heures)	120 jours
MAT (%)	14 à 21 %	17 %	15 %
Production TMS/ha	3.5 à 5 TMS/ha	4 à 7 TMS/ha	2 à 3 TMS/ha
Prix semence	4.95 €/kg	4,95 €/kg	20 €/kg



Maïs

Sorgho fourrager

Cowpea
Variété : Black stalion

Lablab purpureus
Variété : Rongaï

Haricot Tarbais
Variété : Alaric

4. Résultats

4.1. Choix des cultures associées

A partir des recherches bibliographiques, des résultats des expériences récoltées et des éleveurs enquêtés, 12 espèces potentiellement associables avec le maïs ou le sorgho ensilage ont été recensées. En plus des critères de sélection déterminés dans le matériel et méthodes, un critère de faisabilité technique a été ajouté. En effet, il n'existe pas toujours de références sur le territoire métropolitain pour certaines espèces répondant aux critères de sélection. De ce fait, 9 cultures ont été envisagées mais non retenues pour le reste de l'étude car elles ne répondaient pas aux critères de sélection. Ces espèces avec les critères de sélection non satisfaits sont présentées dans le **Tab.6**. Le reste de l'étude portera ainsi sur 3 légumineuses (le Cowpea, le Lablab et le Haricot Tarbais) qui ont répondu à ces différents critères.

4.2. Physiologie des légumineuses associées

Les plantes associées répondant aux critères de sélection sont 3 légumineuses (famille : Fabacées) :

- Le *Lablab purpureus* également connu sous le nom de pois antaque ou dolique d'Egypte ou encore Lablab bean en anglais, est une espèce bisannuelle cultivée dans les régions tropicales comme en Afrique (Murphy, Colucci, 1999).
- *Vigna unguiculata* en latin, Cowpea en anglais et niébé en français est une espèce annuelle du genre *Vigna* d'origine asiatique. Elle est cultivée dans toutes les zones tropicales ainsi qu'aux Etats-Unis sur plus de 9 millions d'hectares (CIRAD - GRET, 2002)
- Le Haricot Tarbais (*Phaseolus vulgaris*) est une espèce de haricot grimpant annuelle cultivée pour son grain dans le Sud-Ouest de la France. Il est bien souvent associé au maïs qui lui sert de tuteur.

Ces 3 espèces sont des plantes herbacées, à port volubile pour le Lablab et le Haricot Tarbais, et à port dressé pour le Cowpea. Ces plantes gélives nécessitent un sol « réchauffé » (10-12°C) pour se développer. Ces espèces présentent l'intérêt d'être très tolérantes à la chaleur (CIRAD - GRET, 2002). Elles font partie de la famille des Fabacées et sont donc normalement capables de fixer l'azote atmosphérique par le développement des nodules racinaires. Cette faculté leur permet d'une part la réduction de l'utilisation d'intrants et d'autre part de présenter un fort taux de protéines dans leurs tissus. Elles répondent ainsi toutes les 3 aux critères de sélection établies précédemment et l'ensemble des caractéristiques physiologiques de ces 3 légumineuses associées au maïs/sorgho ensilage sont présentées dans le **Tab.7**.

La majeure partie des résultats sera consacré au Lablab et au Cowpea qui sont des légumineuses tropicales « nouvelles » sur le territoire métropolitain, connaissant un réel engouement dans le monde agricole. Le Haricot Tarbais, déjà cultivé sur les terres agricoles françaises, permettra d'établir une comparaison avec ces légumineuses tropicales et ainsi montrer l'intérêt de celles-ci.

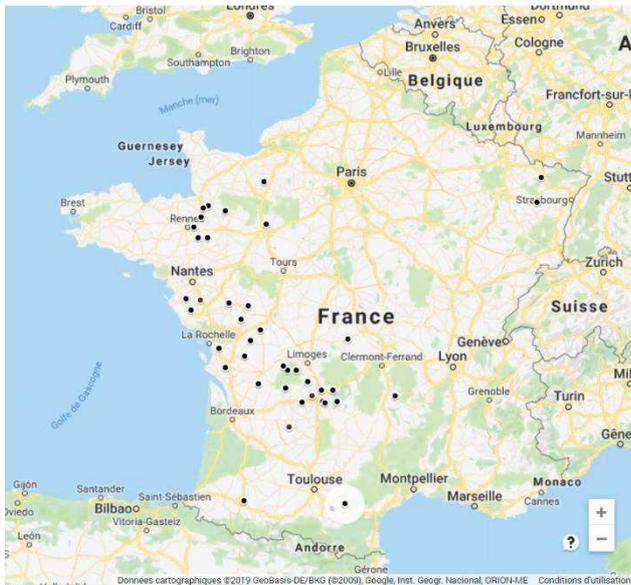


Figure 10 : Carte de localisation des éleveurs et des sites maïs/sorgho ensilage avec des légumineuses tropicales recensés en France (d'après My Maps, données cartographiques ©2018 Google)



Figure 11 : Carte de localisation des 15 tests éleveurs (en vert) et des 10 sites (en orange) maïs/sorgho ensilage avec des légumineuses tropicales retenus en France (d'après My Maps, données cartographiques ©2018 Google)

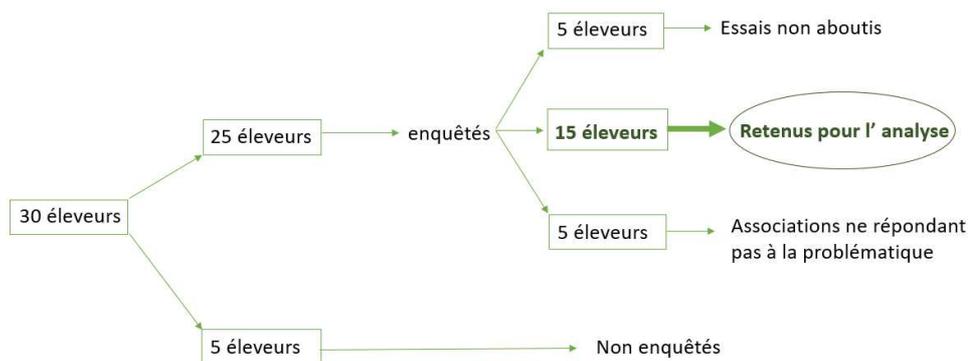


Figure 12 : Schéma explicatif des éleveurs retenus pour l'analyse

Tableau 8 : Récapitulatif des expérimentations sur les 10 sites retenus

Structure	Conduite	Surfaces	Année	Modalité	Densité
CRA 24	Bio	Grandes bandes	2018	Maïs pur	80 000
				Maïs*Lablab	80 000 + 10kg
				Maïs*Lablab	80 000 + 20kg
CDA 54	Bio	Grandes bandes	2018	Maïs pur	100 000
				Maïs*Lablab	80 000 + 80 000
				Maïs*Haricot tarbais	80 000 + 14,6 kg
CDA 44	Bio	Micro parcelles	2018	Maïs pur	100 000
				Maïs*Lablab	80 000 + 20kg
				Maïs*Haricot tarbais	80 000 + 48,7kg
CDA 44	Bio	Micro parcelles	2018	Maïs*Haricot tarbais	80 000 + 73kg
				Maïs pur	100 000
				Maïs*Lablab	80 000 + 20kg
CDA 44	Conventionnel	Micro parcelles	2018	Maïs*Haricot tarbais	80 000 + 48,7kg
				Maïs pur	105 000
				Maïs*Lablab	80 000 + 15kg
Lycée Courcelles-Chaussy	Conventionnel	Micro parcelles	2016	Maïs pur	80 000 + 10kg
				Maïs*Haricot tarbais	113 000
Lycée Courcelles-Chaussy	Conventionnel	Micro parcelles	2015	Maïs pur	105 000 + 58kg
				Maïs*Haricot tarbais	123 000
CDA 14	Bio	Grandes bandes	2014	Maïs pur	103 000 + 29kg
				Maïs*Haricot tarbais	110 000
CDA 87	Bio	Grandes bandes	2018	Maïs pur	110 000 + 30kg
				Maïs*Lablab	100 000
CDA 17	Bio	Grandes bandes	2018	Maïs pur	90 000 + 20kg
				Maïs*Lablab	75 000
				Maïs*Lablab	75 000 + 15kg

4.3. Synthèse des enquêtes et des expériences recensées

4.3.1. Présentation de l'échantillon

La liste d'éleveurs recensés ainsi que la liste des différentes expérimentations menées sur le territoire métropolitain (**Fig.10**) a été constituée en contactant les organismes suivants : Arvalis, Ocealia, INRA (Station de Lusignan et Rennes), IDELE, TCS Magazine, La vache heureuse, FRAB Nouvelle Aquitaine, Chambre d'Agriculture ainsi que des lycées agricoles.

De plus, la société semencière SEMENTAL qui fût la première à tester la possibilité d'associer des légumineuses tropicales avec du maïs ou du sorgho ensilage a été approchée et a permis d'obtenir de nombreuses informations sur les itinéraires techniques ainsi que sur la physiologie de ces légumineuses. Deux autres sociétés semencières ont été contactées (CAUSSADE Semences et Semences de Provence) mais ces sociétés travaillant aussi sur les fourrages ne développent pas pour le moment de semences sur ces légumineuses.

Enfin, des contacts établis avec le CIRAD (La Réunion), l'INRA (Station de Montpellier, de Dijon et de Guadeloupe) ainsi que sur le continent africain (Burkina Faso, Mali, Sénégal) nous ont permis d'approfondir la problématique liée au développement des nodosités.

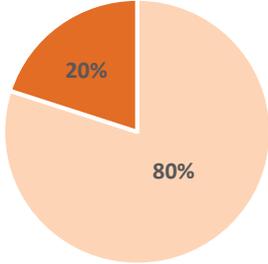
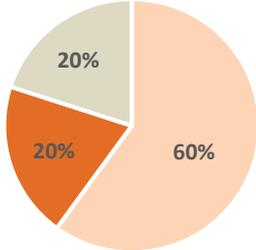
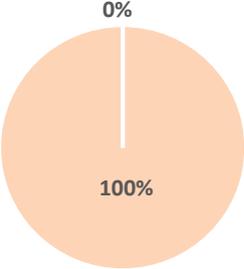
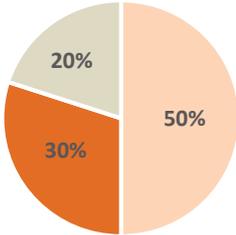
Cette approche a permis d'établir dans un premier temps une liste exhaustive de 30 éleveurs ayant mis en place ce type d'association. Parmi eux, 25 ont accepté d'être enquêtés physiquement ou par téléphone. 5 n'ont pas été intéressés par l'enquête. En effet, pour ces éleveurs, les tests menés n'ont pas permis d'avoir assez de recul sur ces associations (mauvaise levée, absence de la légumineuse à la récolte, ...). De plus, 5 éleveurs ont répondu à l'enquête mais les associations mises en place ne correspondaient pas à la problématique de départ et n'ont donc pas été conservées dans l'échantillon. Ainsi, au total **15 éleveurs** ont répondu à l'enquête et ont permis de d'analyser les itinéraires techniques sur les associations maïs/sorgho ensilage avec le Lablab et le Cowpea (**Fig.12**).

Parmi les exploitations sollicitées (**Fig.11**), 7 sont en Agriculture biologique, et 8 en Agriculture conventionnelle. Les tests ont été menés exclusivement en grandes bandes dans ces exploitations sur des surfaces allant de 1 à 17 ha. La majorité des tests menés par les éleveurs était des associations maïs/Lablab. 2 expériences maïs/Lablab/Cowpea ont pu être relevées. Enfin, l'intégralité des enquêtes a été effectuée sur les tests mis en place en 2018 afin d'uniformiser les résultats.

Les éleveurs interrogés sont exclusivement des **éleveurs de vaches laitières**. Le principal objectif souligné par 100 % des éleveurs est de permettre à ce fourrage d'apporter **plus de protéines** dans le mélange par rapport au maïs cultivé seul et ainsi réduire l'achat de concentrés azotés. Le deuxième objectif cité par 30 % d'entre eux est de permettre une **meilleure couverture du sol**. Ainsi, la recherche d'un fourrage de meilleure qualité est prioritaire. La réduction des interventions de désherbage serait donc un plus mais est un peu plus déconnecté de leur problématique initiale.

Dans un second temps, 18 sites où des expériences de ces associations menées par différentes chambres d'Agriculture (34 conseillers ont été sollicités), un lycée agricole et L'INRA de Lusignan ont pu être recensées. Ces expériences n'ont pas pu toutes être prises en compte puisque les légumineuses testées ne correspondaient pas aux critères de sélection établis. De plus, certaines de ces expériences ne présentaient pas un témoin maïs pur. De ce fait, elles ne seront donc pas gardées dans l'échantillon. Par conséquent, 10 sites ont été retenus (**Tab.8**), 3 d'entre eux étaient en culture conventionnelle, les 7 autres étaient en

Tableau 9 : Principales informations qualitatives sur l'association du maïs ensilage avec du Lablab et du Cowpea recueillies auprès des éleveurs

<p>Le semis</p>	 <p>■ Semoir monograine ■ Semoir à céréales</p>	<ul style="list-style-type: none"> . Majorité de semoir monograine dû à la facilité d'implantation de l'association maïs/Lablab (mêmes tailles de graines) . Semoir à céréales utilisé pour l'association Maïs/Lablab/Cowpea . Profondeur 3 – 4 cm . Ecartement 75 cm . Mêmes dates d'implantation que le maïs cultivé seul . Variété de maïs précoce
<p>Désherbage mécanique</p>	 <p>■ Bineuse ■ Herse étrille ■ Houe rotative</p>	<ul style="list-style-type: none"> . Essentiellement contre les repousses de graminées et dicotylédones
<p>Fertilisation minérale et/ou organique</p>	 <p>■ Oui ■ Non</p>	<ul style="list-style-type: none"> . Fertilisation obligatoire . 160 Unités d'azote environ
<p>Appétence</p>	 <p>■ Plus appétent ■ Neutre ■ Moins appétent</p>	<ul style="list-style-type: none"> . Peu d'expériences . Difficile à évaluer

culture bio. La moitié de ces sites ont été conduits grandes bandes, l'autre moitié en micro-parcelles. Parmi eux, 10 expérimentations ont comparé le maïs/Lablab au maïs pur et 8 le maïs/Haricot Tarbais au maïs pur. Ces expérimentations ont été conduites de 2014 à 2018.

L'analyse des tests et des expérimentations récoltés ne sera pas réalisée sur le sorgho ensilage, les résultats obtenus ne permettant pas une analyse précise. De plus, l'analyse agronomique (rendement et valeur alimentaire) ainsi qu'économique sera exclusivement réalisée sur le maïs associé au Lablab ou au Haricot Tarbais. En effet, les retours, moins fournis sur le maïs associé au Cowpea indiqueront essentiellement des informations sur l'itinéraire technique et sur la physiologie de cette légumineuse.

4.3.2. Analyse des Itinéraires Techniques (ITK)

Les informations fournies par les éleveurs lors des enquêtes ont permis de préciser les différentes étapes de l'ITK du maïs ensilage avec le Lablab et le Cowpea. Le récapitulatif de cette analyse qualitative est présenté dans le **Tab.9**.

→ Semis et densité de semis

Les graines de Lablab et Cowpea utilisées par les éleveurs sont toutes commercialisées par la société semencière SEMENTAL. D'après le **Tab.9**, le semis de la culture associée se conduit de la même manière qu'un maïs cultivé seul (variété, profondeur de semis, écartement, semoir, ...). Le semis de la culture associée doit être réalisé assez tardivement (mi-mai) afin que la température du sol soit assez élevée et que le développement de la légumineuse associée soit optimisé. Dans tous les cas, l'implantation du maïs et de l'espèce associée s'effectue au même moment. En effet, quelques éleveurs soulignent que le décalage du semis de la légumineuse limiterait le développement de la légumineuse. Il est possible que le maïs trop avancé entraîne une compétition vis-à-vis de la lumière.

Dans la majorité des cas chez le Lablab, la levée s'est très bien passée (90 % des cas). Par contre, l'implantation du Cowpea semble plus compliquée, des difficultés de levées entraînant une faible part du Cowpea dans la parcelle.

Les éleveurs ayant mis en place ce type d'association ont testé plusieurs densités de semis. La densité du maïs est systématiquement la même que la densité du maïs cultivé seul chez ces éleveurs. L'indice de précocité des variétés de maïs utilisé se situe autour des 250-300 c'est-à-dire des variétés précoces. Les éleveurs interrogés ont testé plusieurs densités de semis pour le Lablab et le Cowpea. Il semble ressortir que la maximisation de la densité de la légumineuse associée permettrait une proportion de celle-ci beaucoup plus importante dans le mélange récolté et donc une augmentation potentielle de la valeur alimentaire du fourrage. Ainsi, les résultats les plus probants d'un point de vue visuel pour les éleveurs sont des densités de 80 000/80 000 grains/ha pour l'association maïs/Lablab et 80 000/40 000/40 000 grains/ha pour l'association maïs/Lablab/Cowpea.

→ Désherbage

La plupart des éleveurs sèment le maïs et la légumineuse sur le même rang afin que le passage de la bineuse soit possible, elle est le plus couramment utilisée (60 %) (**Tab.9**). La herse étrille ainsi que la houe rotative peuvent aussi être une alternative mais quelques problèmes ont été recensés avec la houe rotative qui entraîne la destruction des plantes en les arrachant.

Concernant le désherbage chimique, l'utilisation de plusieurs molécules, la pendiméthaline (*Prowl 400 et Atic Aqua*), du S-métolachlore (*Mercantor gold*) et du bentazone (*Basagran SG*) est possible. Ces herbicides chimiques ont une action anti-graminée ou anti-dicotylédone et peuvent être utilisés en agriculture conventionnelle afin de gérer les adventices présentes dans la culture.

Les solutions de désherbage en agriculture biologique pouvant être néanmoins limité notamment lorsque le développement de la légumineuse devient trop important dans l'inter-rang.

→ Fertilisation

La conduite de l'itinéraire technique sur ces associations étaient exactement **la même** que celle mise en place dans le cas d'un maïs cultivé seul. De ce fait, les apports de fumier/lisier et/ou la fertilisation de synthèse a été maintenue (**Tab.9**). Cette fertilisation se situe autour de 160 unités d'azote. Les densités de semis du maïs n'étant pas diminuées, la demande en azote du maïs reste identique.

4.3.3. Atouts et contraintes liés à ce type d'association

Les atouts et contraintes de ces associations ont pu être répertoriés suite aux enquêtes réalisées :

→ Atouts

La récolte du maïs associé se détermine en fonction de la maturité du grain de maïs. En ce qui concerne le stockage de ce fourrage, la méthode la plus couramment utilisée par les éleveurs est le stockage en silo. Un éleveur a ensilé le mélange en boudin. Sur ces 2 modes de conservation, aucun problème de conservation n'a été relevé (ex : écoulement de jus...).

L'appétence du mélange sur les animaux est assez compliquée à évaluer. D'une part, dans la majorité des cas, les tests effectués chez les éleveurs étaient effectués sur de petites surfaces dans la parcelle de maïs pur. Ainsi, lors de la récolte, toute la parcelle était ensilée et stockée en même temps. Il est donc très compliqué d'évaluer les effets de l'alimentation de ce mélange sur les vaches laitières. D'autre part, lors de l'entretien chez certains éleveurs, cette alimentation se trouvait encore au silo et donc l'effet sur le bétail ne pouvait pas être évalué. 2 éleveurs ont réalisé un silo entier de maïs/Lablab, dans les 2 cas, une meilleure digestibilité ainsi qu'une meilleure appétence a été observée par rapport à une alimentation exclusivement de maïs pur. Sur les 8 autres éleveurs ayant donné ce fourrage aux animaux, 3 estime que le mélange était plus appétant que le maïs pur, 3 éleveurs n'ont pas vu de différence et 2 éleveurs ont plutôt trouvé que c'était moins appétant (**Tab.9**). Cependant, aucune observation sur l'amélioration de la production de lait n'a été relevée.

Quant au développement des maladies sur ces cultures, sur toutes les enquêtes réalisées, aucune maladie ou insecte ravageur n'a été répertorié.

Dernier point, il est intéressant de noter que ces variétés ont une capacité de repousses identifiée par certains éleveurs ainsi qu'une résistance au piétinement : il serait donc intéressant de mesurer cette capacité de repousses dans le cas de l'utilisation de ces variétés dans des systèmes pâturant.



Figure 13 : Lablab se servant du maïs comme tuteur grâce à son port volubile (CRA NA, 2018)

- **Sorgho / Cowpea**
 - Sorgho monocoupe pour ensilage
 - Sorgho multicutpe pour pâturage
 - Date de semis classique du sorgho
 - Semoir à céréales
 - Sorgho : 15 kg/ha
 - Cowpea : 5kg/ha

Figure 14 : Itinéraire technique recommandé pour l'association du sorgho ensilage avec le Cowpea

- **Maïs / Lablab**
 - Date de semis identique à maïs pur
 - Semoir monograine
 - Maïs : indice précoce (260-300) : 85 000 pieds/ha
 - Lablab : 18 - 20 kg/ha
 - Apport d'au moins 150 UN
 - Binage possible ou désherbage chimique
 - Irrigation recommandée
- **Maïs / Lablab / Cowpea**
 - Date de semis identique à un maïs pur
 - Semoir à céréales
 - Maïs : indice précoce (260-300) : 85 000 pieds/ha
 - Lablab : 10 kg/ha
 - Cowpea : 5 kg/ha
 - Apport d'au moins 150 UN
 - Binage possible ou désherbage chimique
 - Irrigation recommandée

Figure 15 : Itinéraire technique recommandé pour l'association du maïs ensilage avec le Lablab et le Cowpea

→ Contraintes

Quelques problèmes pratiques ont été relevés par certains éleveurs. La mise en place de ces associations n'inclut pas réellement de charge de travail supplémentaire. Cependant, la récolte du fourrage associé peut engendrer un temps de récolte un peu plus important par rapport à la récolte d'un maïs pur (environ 1 h/ha). En effet, la biomasse importante et l'effet liane du Lablab (**Fig.13**) peut entraîner des bourrages dans l'ensileuse. Une vitesse de récolte plus lente est donc souhaitable.

Autre point, afin que l'alternance maïs-Lablab soit la plus homogène sur le rang, le mélange des graines de maïs et de Lablab est indispensable avant de les incorporer dans le semoir. Ce mélange peut entraîner un temps de travail supplémentaire se situant aux alentours d'une heure et demie.

Enfin, dans le cas d'une parcelle irriguée par couverture intégrale, le retrait des asperseurs peut devenir très compliqué pendant la culture. En effet, lorsque le Lablab est suffisamment développé, la culture devient impénétrable au moment de la récolte et les asperseurs ne peuvent plus être retirés.

4.4. Synthèse des ITK

Pour conclure, d'après les premières observations, il ressort que le Lablab s'associe préférentiellement avec le maïs ensilage et plus difficilement avec le sorgho ensilage. En effet, le Lablab, avec une capacité volubile importante et une production importante de biomasse, peut entraîner des risques de verse sur le sorgho qui possède une résistance à la verse moins importante que le maïs. Le Cowpea, avec un besoin en température élevé et un développement morphologique moins important que le Lablab s'associera plus facilement au sorgho fourrager.

Au niveau du développement aérien, il ressort un fort développement du Lablab facilité par son comportement volubile et des feuilles bien vertes à la récolte. En ce qui concerne le Cowpea, son développement est plus limité en raison d'une vitesse de développement moins rapide que le Lablab. Il subit donc une concurrence plus forte de la part du maïs ou du sorgho.

Même si les retours sont peu nombreux, il est possible de préconiser un itinéraire technique pour les éleveurs voulant mettre en place l'association du sorgho ensilage avec ces légumineuses tropicales. Cet ITK est résumé **Fig.14**.

L'association de ces légumineuses tropicales avec le maïs ensilage semble néanmoins être une meilleure alternative. Les nombreux retours positifs des éleveurs sur le maïs/Lablab conduisent à approfondir les techniques d'implantation afin de maximiser le potentiel de cette association. A ce jour, les ITK les plus adaptés sont résumés dans la **Fig.15**. Une des constatations fortes au niveau de l'ITK est que l'implantation de ces cultures associées ne pose pas de réel problème pour l'éleveur puisque l'ITK est identique au maïs cultivé pur.

4.5. Analyse des rendements et des valeurs alimentaires sur les expérimentations

Sur les expérimentations qui sont réalisées à chaque fois avec une comparaison entre le maïs associé et le maïs pur, l'itinéraire technique est le même entre ces deux modalités. La seule modification entre les 2 itinéraires techniques étant l'ajout des semences de la variété associée et dans quelques cas la diminution de la densité de maïs par rapport au maïs cultivé seul. L'ensemble de ces expérimentations réalisé par les différents organismes montrent des rendements inférieurs dans le cas des maïs associés au Lablab et au Haricot Tarbais. En effet,

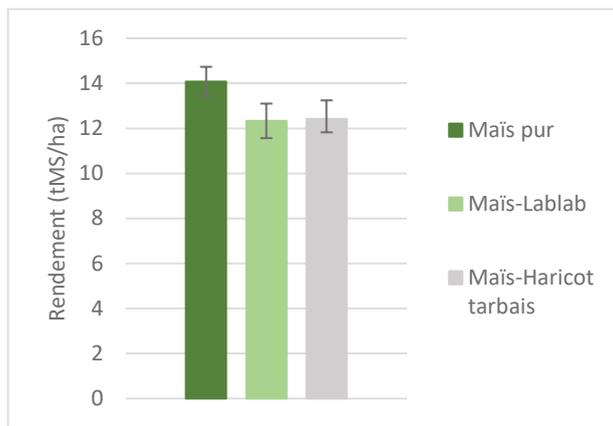


Figure 17 : Comparaison des rendements obtenus en tMS/ha entre le maïs pur (n=10), le maïs/Lablab (n=10) et le maïs/Haricot Tarbais (n=8) sur les expérimentations

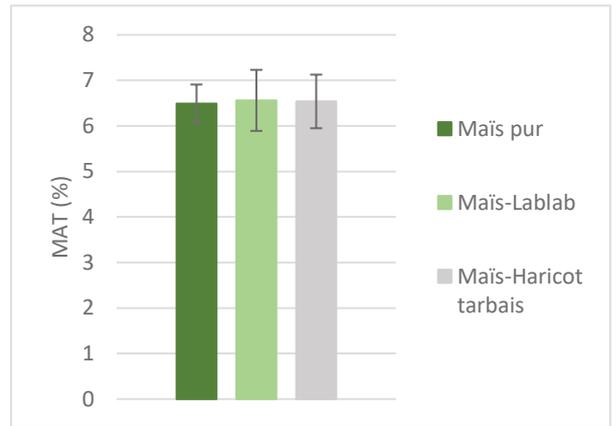


Figure 16 : Comparaison des teneurs en MAT obtenues en pourcentage entre le maïs pur (n=10), le maïs/Lablab (n=10) et le maïs/Haricot Tarbais (n=8) sur les expérimentations

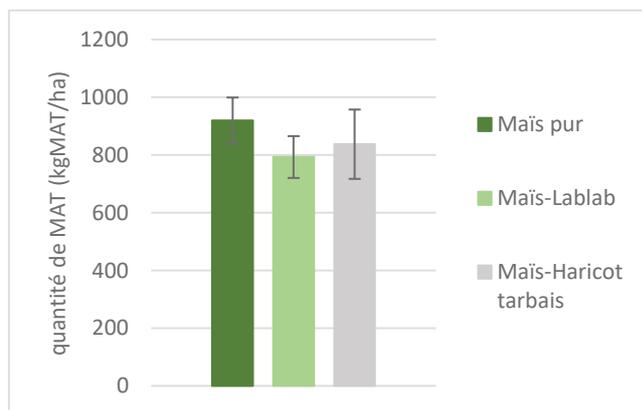


Figure 19 : Comparaison de la quantité de protéines produites par unité de surface sur les expérimentations entre le maïs pur (n=10), le maïs/Lablab (n=10) et le maïs/Haricot Tarbais (n=8)

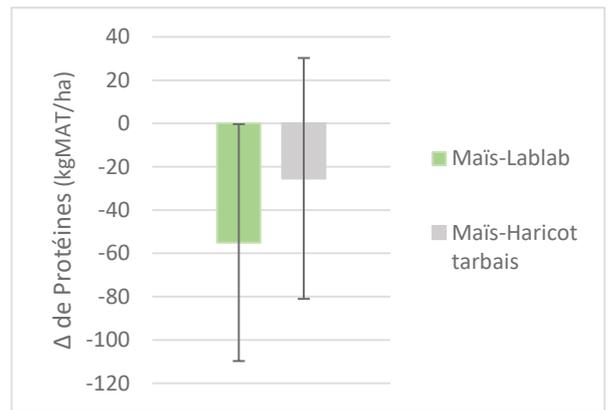


Figure 18 : Comparaison du delta de protéines produites par unité de surface par rapport au maïs pur entre le maïs/Lablab (n=10) et le maïs/Haricot Tarbais (n=8) sur les expérimentations

le maïs pur permet un rendement moyen de 14,1 tMS/ha alors que les rendements obtenus pour les associations du maïs avec le Lablab et le Haricot Tarbais sont de 12,1 tMS/ha et 12,2 tMS/ha respectivement soit une perte de rendement d'environ 2 tMS/ha en moyenne (**Fig. 16**).

De plus, les valeurs alimentaires ne sont pas augmentées, autour de 6,6 % pour ces 2 associations alors que la valeur alimentaire du maïs pur se situe autour de 6,5 % (**Fig.17**). Les premiers résultats observés sur ces différentes expérimentations sont donc assez contrastés puisque ces associations sont mises en place dans le but de produire un fourrage de meilleure qualité notamment avec des valeurs de MAT dans le mélange plus élevées. Or, sur les expérimentations conduites en France métropolitaine, les gains de MAT sont loin des valeurs attendues puisqu'il n'y a pas de gain observé par rapport au maïs cultivé en culture pure.

Du fait d'obtenir des rendements plus faibles et des valeurs de MAT identiques, la quantité de protéines produites par unité de surface sera forcément plus faible lorsque le maïs est associé au Lablab ou au Haricot Tarbais. La **Fig.18** indique que le maïs pur permet de produire en moyenne 930 kg de protéines par hectare. Tandis que cette quantité est nettement plus faible pour les 2 associations avec une quantité se situant plus aux alentours de 800 kg/ha.

Enfin, la **Fig.19** s'appuie sur le delta de protéines produites entre les couples maïs pur / maïs associé toutes choses égales par ailleurs au niveau de l'itinéraire technique. Ainsi l'association maïs/Lablab entraîne une perte de protéines d'environ 60 kg/ha par rapport au maïs pur et l'association maïs/Haricot Tarbais entraîne une perte moyenne de 20 kg/ha de protéines. Mais sur ces deux valeurs, l'erreur standard est très importante, ce qui indique que quelques expérimentations en association permettent de gagner plus de protéines par unité de surface par rapport au maïs cultivé seul.

Ces informations indiquent donc que les associations du maïs avec le Lablab ou avec le Haricot Tarbais ne stabilisent pas d'une part les rendements et ne permettent pas l'augmentation de la qualité du fourrage. Ainsi les quantités de protéines produites par hectare sont donc plus faibles par rapport au maïs cultivé seul.

4.6. Facteurs limitants

Afin de mieux comprendre les résultats contrastés de ces associations mises en place notamment pour l'association maïs/Lablab, 3 facteurs limitants ont pu être analysés.

→ Les nodosités

La présence de nodosités chez ces 2 espèces n'a quasiment pas été constatée. En effet, il n'a **jamais été observé de nodosités sur le Lablab** sur toutes les expériences répertoriées en France. Concernant le Cowpea, les nodosités sont **quasiment toujours absentes** mais sur une parcelle, la présence de nodosités a été relevée sans avoir pu vérifier si elles étaient fonctionnelles. Cette parcelle en question avait un précédent soja 2 ans auparavant. Or le soja a la capacité de couvrir une large partie de ses besoins en azote grâce à la symbiose avec une bactérie spécifique : *Bradyrhizobium japonicum*. Ces bactéries étant naturellement absentes des sols européens, il est nécessaire de les apporter sous forme d'inoculum. La littérature montre que le Lablab et le Cowpea nodulent facilement dans leurs pays d'origine (Afrique) puisque les bactéries responsables de la symbiose sont naturellement présentes dans les sols, ce qui entraîne la nodulation. Mais en France, ces bactéries ne sont pas présentes tout comme le soja.

→ Les ressources du milieu

L'association culturale entraîne une compétition entre les espèces associées pour les ressources du milieu qui sont essentiellement l'eau, l'azote et la lumière. Concernant la compétition pour l'eau entre les 2 espèces associées, elle pourrait compromettre le rendement et/ou la valeur alimentaire.

D'après la **Fig.20**, en situation irriguée et non irriguée, le rendement de l'association maïs/Lablab sur les expérimentations étudiées est dans 90 % des cas pénalisé. Mais, afin d'évaluer l'impact de l'irrigation sur l'association, il serait préférable de conduire des essais avec des courbes de réponse entre l'irrigation et les 2 indicateurs agronomiques (MAT et rendement).

La compétitivité pour la lumière est beaucoup plus compliquée à appréhender mais d'après les premiers retours, la vitesse du développement du maïs et du Lablab serait simultanée et la compétition pour la lumière serait ainsi quasi nulle entre les deux espèces dans le cas d'un semis réalisé au même moment.

L'hypothèse la plus probable est la compétition pour l'azote due à l'absence de nodosités. En effet, ces légumineuses ne jouent pas leur fonction de légumineuses en captant l'azote atmosphérique. Elles sont ainsi aussi dépendantes pour l'azote que le maïs ou le sorgho. La fertilisation sur ces expérimentations a été identique à un maïs cultivé seul. Or, la densité de plantes par m² est deux fois plus élevée et les besoins du maïs et de la légumineuse (ne développant pas de nodosités) sont donc plus élevés aussi. L'apport trop faible d'azote pourrait ainsi expliquer la baisse des rendements et ces valeurs de MAT. Cependant, d'après la **Fig.21**, il ne semble pas avoir de relation entre les teneurs en MAT observées et l'augmentation de la fertilisation. En effet, un apport de 320 UN entraîne une teneur en MAT identique aux teneurs en MAT observées avec une fertilisation moyenne (160 UN). De même, la **Fig.22**, montre que l'augmentation de la fertilisation n'entraîne pas de hausses de rendement. Ainsi, des apports importants d'azote ne semblent donc pas augmenter la valeur alimentaire ainsi que le rendement du fourrage.

→ La densité

Le nombre trop limité d'expérimentations ne nous permet pas de dire si la densité de semis du maïs et/ou du Lablab influe sur les rendements et les teneurs en MAT. Même si l'hypothèse qu'une densité assez élevée du Lablab (20kg/ha) serait plus propice pour augmenter la valeur nutritive du fourrage.

Compte tenu du nombre d'expérimentations limitées et réalisées dans des contextes pédoclimatiques bien différents, il est assez compliqué de discriminer ces facteurs limitants. Cependant, l'absence des nodosités chez le Lablab semblent être le frein majeur à la réussite de l'association avec le maïs ensilage.

4.7. Etude économique

L'analyse économique s'est basée dans un premier temps sur les charges opérationnelles liées à l'implantation de la culture associée par rapport au maïs pur. Les charges supplémentaires sur ces cultures associées sont le prix des semences de la légumineuse associée puisque l'ITK ne diffère pas du maïs cultivé seul.

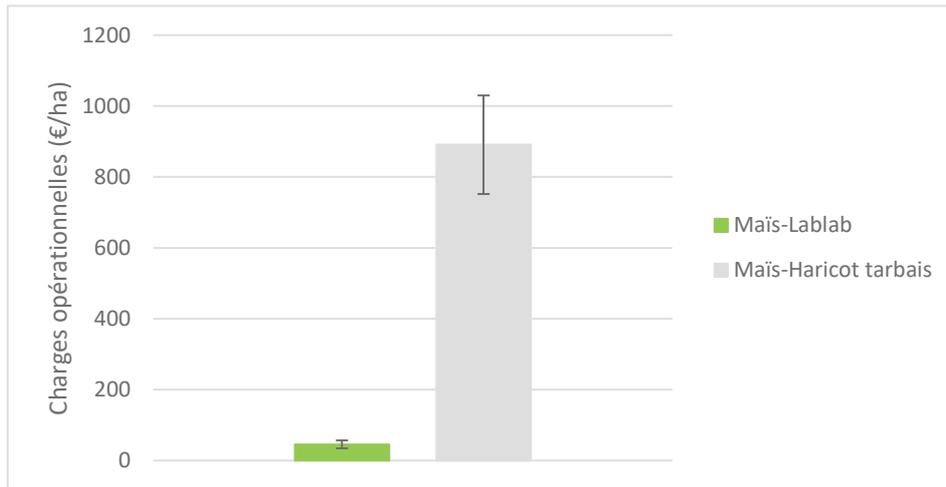


Figure 23 : Comparaison des charges opérationnelles liées à l'implantation de l'espèce associée de Lablab (n=10) ou de Haricot Tarbais (n=8) par rapport à la culture de maïs pur sur les expérimentations (Prix des graines de Lablab (4.95€/kg) et de Haricot Tarbais (20€/kg))

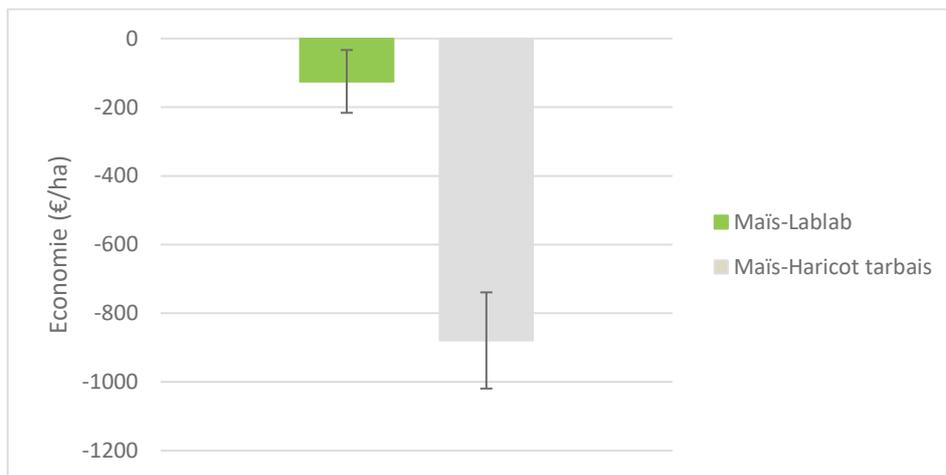


Figure 24 : Comparaison de la rentabilité de la culture associée de maïs-Lablab (n=10) et maïs-Haricot Tarbais (n=8) en fonction du prix du tourteau de soja (Prix du soja conventionnel (370 €/t) et Bio (850 €/t)) et des charges opérationnelles

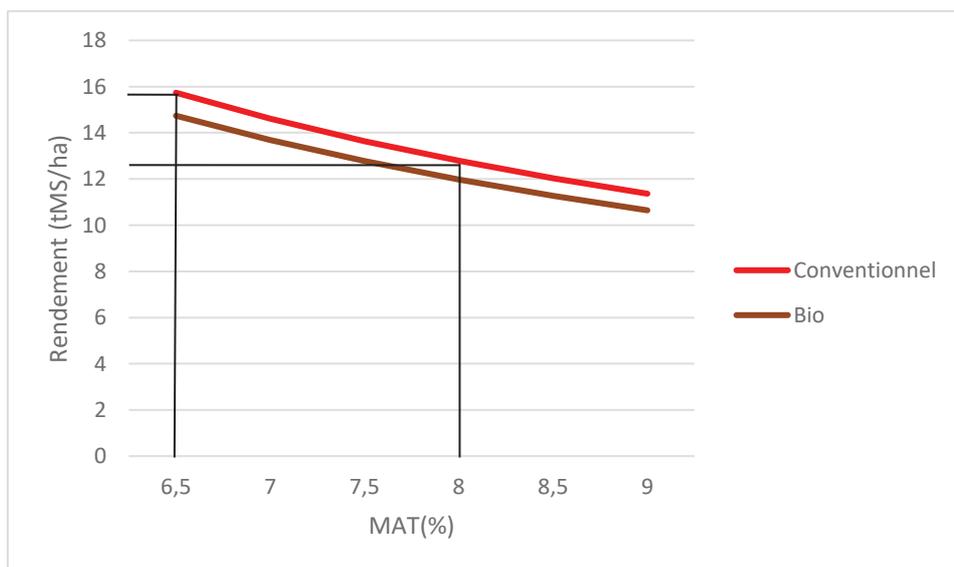


Figure 25 : Approche par extrapolation des valeurs de rendement et MAT à atteindre pour rentabiliser l'association « Maïs – Lablab »

Simulation par rapport à un maïs pur, rendement : 14.1tMS/ha à 6,5 % de MAT

Surcoût charges opérationnelles : 100 €/ha (prix semences bio et conventionnelles identiques);

Prix du soja conventionnel (370 €/t) et Bio (850 €/t)

D'après la **Fig.23** l'association maïs/Lablab inclut un surcoût de 45 €/ha de charges par rapport au maïs pur. Ce dernier est nettement plus élevé pour l'association maïs/Haricot Tarbais (900 €/ha) étant donné que le coût de la semence et la densité de semis du Haricot Tarbais sont très élevées.

Dans un second temps, afin d'évaluer la rentabilité de ces cultures associées, la quantité de protéines produites a été convertie en valeur monétaire en fonction du prix du tourteau de soja économisé ou dépensé et en fonction des charges opérationnelles par rapport au maïs cultivé seul. Sur toutes les expérimentations étudiées, la **Fig.24** illustre que l'association maïs/Lablab entraîne en moyenne une perte économique pour l'éleveur d'environ 125 €/ha et de 850 €/ha pour l'association avec le Haricot Tarbais. Néanmoins, un essai mené en Dordogne a montré une économie de 450 €/ha avec un rendement supérieur de 1 tMS/ha et une MAT supérieure de 2 points par rapport au maïs pur.

Une approche par extrapolation a été réalisée afin de connaître les valeurs de rendement ou de MAT à atteindre afin de rentabiliser l'association. Avec un rendement moyen de 12,3 tMS/ha sur les expérimentations, la teneur en MAT dans le mélange à atteindre en culture conventionnelle se situe aux alentours de 8 % (**Fig. 25**). De même, avec une teneur de MAT de 6,5 % en moyenne sur les expérimentations, il faudrait avoir un rendement de 15,8 tMS/ha pour compenser le surcoût en culture conventionnelle.

4.8. Synthèse des résultats

L'association culturale du maïs ensilage avec ces légumineuses tropicales devait permettre, en théorie, d'améliorer la valeur alimentaire du fourrage et augmenter l'autonomie protéique des exploitations. Les expérimentations menées ainsi que les enquêtes réalisées auprès des éleveurs se rejoignent sur différents points. Le Lablab présente un fort développement tandis que le développement du Cowpea semble limité. De plus, au lieu d'avoir un effet bénéfique sur l'azote via le captage de l'azote atmosphérique, la quasi-absence des nodosités entraîne une possible compétition pour l'azote entre les plantes associées pouvant expliquer les baisses de rendements observées. Les teneurs en protéines sont bien inférieures à l'objectif recherché. L'analyse économique suggère qu'à ce jour, l'implantation de ces associations ne permet pas de combler le surcoût des charges opérationnelles. Pour rentabiliser l'association, il est nécessaire d'augmenter le rendement ou la teneur en MAT. Cette dernière option semble plus accessible. Ainsi, la recherche d'inoculum semble donc être un des points clés dans la réussite de ces associations. Enfin l'association culturale avec le Haricot Tarbais semble compromise, les charges opérationnelles (semences) étant trop élevées et le gain de MAT trop faible, la perte économique sera trop importante pour l'éleveur. Il s'avère donc pour le moment plus avantageux pour l'éleveur d'acheter du tourteau de soja en tant que complément azoté plutôt que de mettre en place ce type d'association pour améliorer la qualité du fourrage. Enfin, au vu des résultats, dans le cas d'une augmentation forte du prix du tourteau de soja, il sera d'autant plus intéressant pour l'éleveur de continuer à cultiver du maïs ensilage pur.

5. Discussion

5.1. Discussion de la méthode

Le manque de données sur certaines espèces et/ou associations a contraint cette étude à se focaliser sur l'association maïs/Lablab et maïs/Haricot Tarbais. Il serait judicieux dans les prochaines années de récolter un plus grand nombre de résultats d'expériences notamment pour l'association avec le Cowpea. De plus, cette étude s'est consacrée majoritairement au maïs ensilage, mais une étude similaire plus centrée sur le sorgho ensilage serait tout aussi intéressante.

Une partie des informations utilisées dans cette étude est issue des enquêtes réalisées auprès des éleveurs. Les expériences négatives n'ont pas été toutes communiquées, les éleveurs sont souvent moins favorables à évoquer une mauvaise expérience plutôt qu'une réussite, or ces échecs permettent souvent de diagnostiquer les faiblesses de l'ITK. L'évaluation des indicateurs agronomiques et économiques n'a pas pu être effectuée sur les informations obtenues auprès des éleveurs. En effet d'une part les rendements sont très souvent estimés par les éleveurs et d'autre part, il n'y a jamais de bande témoin maïs pur dans les exploitations, ce qui compromet la comparaison entre le maïs associé et le maïs pur. Enfin, il aurait pu être intéressant d'effectuer notamment sur les expérimentations une analyse statistique afin de mettre en relation l'influence des pratiques sur les indicateurs agronomiques (rendement et MAT) mais le nombre d'expériences étaient trop faibles.

L'évaluation économique consistant à convertir les protéines en valeur du tourteau de soja économiser ou dépenser ne relate pas totalement la réalité de l'introduction de ce type de fourrage dans la ration. En effet, les rations alimentaires données aux animaux sont calibrées. L'ajout d'un fourrage plus riche en protéines implique la modification de cette ration et donc une production de lait différente. Le manque de données notamment sur la ration ne nous a pas permis de la réaliser mais ce type d'analyse (de l'ITK à la production de lait en passant par la ration) pourrait être envisagé afin de réaliser une étude économique plus poussée.

L'analyse des valeurs de MAT a été réalisée à l'aide d'une méthode d'analyse infrarouge sur toutes les expériences. Cette analyse se base sur des équations de prédictions qui permettent de calculer les valeurs alimentaires. Les équations utilisées sont celles utilisées dans le cas d'un fourrage de maïs pur. Or, le fourrage récolté dans le cas des associations est composé de maïs pur et de la légumineuse, ce qui engendre un biais dans les résultats des analyses. C'est pourquoi, il serait intéressant à l'avenir d'évaluer ces valeurs alimentaires à l'aide de la méthode d'analyse chimique qui s'avère plus longues et plus coûteuse mais beaucoup plus représentative des valeurs alimentaires du fourrage (Marnay *et al.*, 2014).

5.2. Discussion des résultats

Ces résultats issus pour la plupart de l'année 2018 n'apportent pour l'instant pas l'effet escompté. En effet, les indicateurs agronomiques (rendements et MAT) obtenus sont en-dessous des attentes de la bibliographie qui indique la possibilité d'obtenir de très bons résultats. Les premiers retours d'éleveurs et la demande pour la mise en place d'essais en 2019 confirment un fort engouement pour cette association innovante. Cet engouement pourrait à terme assez vite s'estomper si la valeur de MAT du mélange n'est pas améliorée.

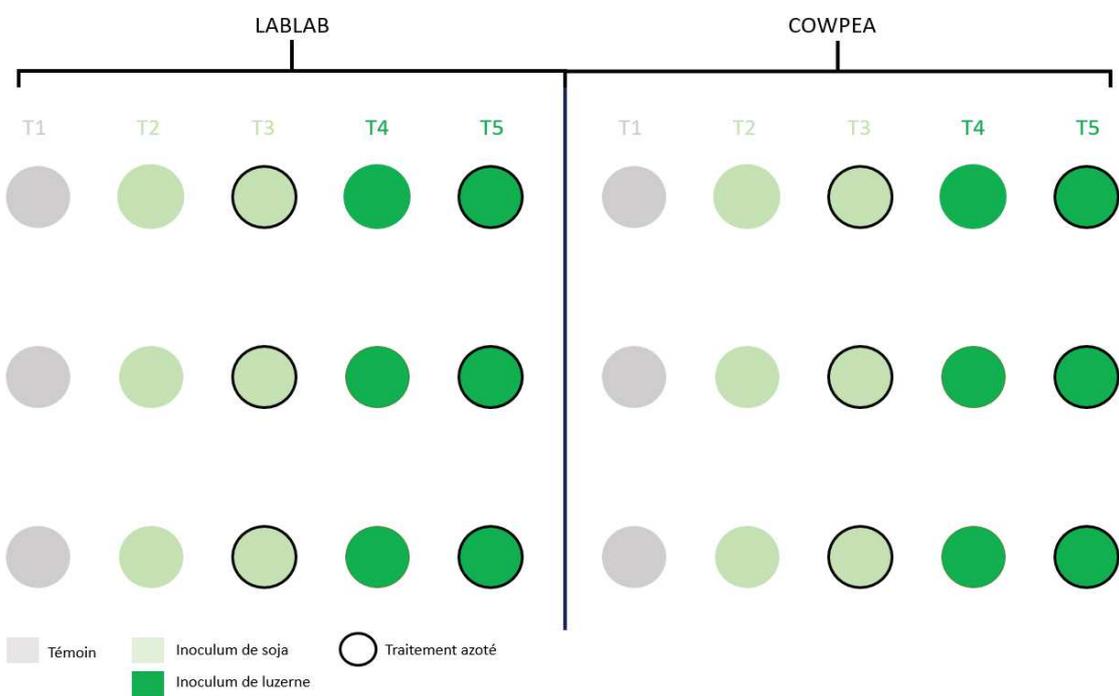


Figure 26 : Dispositif expérimental des différents tests en pots sur le Lablab et le Cowpea réalisés à l'INRA FERLUS (les Verrines, Lusignan)

Ainsi, le travail va constituer à poursuivre les investigations sur ces associations notamment sur l'aspect « production de MAT à l'hectare ». De plus, même si les résultats économiques semblent indiquer une perte de rentabilité pour les éleveurs, l'association ayant le plus fort potentiel semble être l'association maïs/Lablab. Le recul sur ces associations étant assez faibles à ce jour, les travaux de caractérisation de l'ITK doivent se prolonger sur ces cultures associées afin que l'implantation de ces cultures devienne optimale.

5.3. Discussion sur les nodosités

L'étude, auprès des éleveurs ayant déjà mis en œuvre ces mélanges, révèle :

- Une absence totale de nodosité sur *Lablab purpureus* dans toutes les expériences
- La présence de nodosités dans quelques expériences avec un précédent soja sur le Cowpea

Ces résultats ne sont pas surprenants, en effet les deux légumineuses candidates sont d'origine tropicale et sont donc cultivées hors de leur zone d'origine. Leurs partenaires spécifiques semblent absents des sols métropolitains. De ce fait, en absence de symbiose, aucune fixation d'azote d'atmosphérique ne peut être possible, ces légumineuses :

- sont alors concurrentes du maïs ou du sorgho vis-à-vis de l'azote minéral du sol
- ne permettront pas d'augmenter les rendements ainsi que les teneurs en protéine des fourrages.

D'un point de vue agronomique, la légumineuse ne joue pas le rôle attendu et l'absence de nodosités semble donc être le principal facteur limitant. L'inoculation via apport exogène de rhizobia est alors nécessaire (Catroux, Hartmann, & Revellin, 2001). En effet, une étude conduite sur 3 géotypes de soja en Allemagne indique que l'inoculation peut permettre des gains de rendement de plus de 50 % en culture pure et une augmentation de la valeur alimentaire d'environ 25 % (Zimmer *et al.*, 2016). La bibliographie montre que le Lablab, comme le Cowpea sont des espèces nodulées par différentes espèces pouvant appartenir à différents genres. Au moins 6 espèces différentes nodulent le Cowpea (Shamseldin *et al.* 2017) et le Lablab est nodulé par des espèces qui appartiennent à différents genres possédant plusieurs types symbiotiques, dont plus de 80% appartiennent à 4 espèces du genre *Bradyrhizobium* (Chang *et al.*, 2011).

Il est donc nécessaire de se procurer des souches de rhizobia adaptées à ces plantes et de tester leur efficacité pour la fixation biologique de l'azote sur ces deux espèces végétales. Il est possible de : soit commander des souches de collection (nationales ou internationales) ou des inocula étrangers (aucun autorisé en France et l'homologation est très onéreuse), soit d'isoler des rhizobia à partir de nodosités de Lablab et Cowpea provenant des diverses régions de production de ces légumineuses. Cette deuxième option semble donc plus appropriée mais il existe un traité régissant le transfert des ressources génétiques à travers les pays appelé le Protocole de Nagoya. Ce traité implique de nombreuses démarches administratives pouvant prendre plusieurs mois pour le transfert de rhizobia étrangers. Or, après expertise et de nombreux contacts établis par mail, des rhizobia pourraient être importés de La Réunion. La Réunion étant un département d'outre-mer (DROM), le traité de Nagoya ne s'appliquerait pas et les démarches seraient ainsi moins contraignantes.

En parallèle, un protocole sur la nodulation du Lablab et du Cowpea basé sur celui mis en place par J.J. DREVON (communication personnelle, 2019) a été mis en place à l'INRA FERLUS (les Verrines, Lusignan). Ce dispositif (**Fig.26**), conduit en conditions semis-contrôlées vise à tester différents inocula utilisés sur le territoire métropolitain (inoculum de

luzerne et de soja) afin de voir si ces inocula permettent le développement des nodosités chez ces 2 variétés (**Annexe II**).

L'objectif principal de ces travaux est donc dans un avenir proche de permettre au Lablab et au Cowpea de jouer leur fonction de légumineuse via les nodosités. En espérant que le développement de ces nodosités permettra d'augmenter la quantité et la qualité du fourrage de manière significative. Ainsi les essais menés dans les années suivantes devront systématiquement inclure l'observation des nodosités (voir Protocole **Annexe II**).

5.4. Perspectives

Cette étude venait en appui d'une manifestation d'intérêt d'un projet CASDAR déposé en fin d'année 2018 où la note A a été obtenue. Cela a permis de faire évoluer la finalisation du projet déposé en Avril 2019 au vu des premiers résultats issus des enquêtes et des différentes expériences recensées. En effet, le projet TROPI'COW (auTonomie fouRragère et prOtéique Par l'Introduction de Céréales et de prOtéagineux tropicaux dans la ration des ruminants) vise à produire des références pour la production d'associations de légumineuses tropicales et de plantes fourragères d'été (maïs – sorgho) utilisées dans l'alimentation des ruminants pour les filières lait et viande. Ce projet s'étalerait de janvier 2020 à juin 2023 pour une durée de 42 mois et se déroulera selon 5 actions effectuées par différents partenaires :

- 1- *Définition des thématiques à expertiser au champ et repérage des innovations produites par les éleveurs*
- 2- *Production de références agronomiques*
- 3- *Production de références zootechniques*
- 4- *Mesure de l'impact de l'introduction de ces fourrages sur les systèmes de production*
- 5- *Capitalisation et diffusion des connaissances*

Les premiers résultats indiquant l'absence de nodosités chez ces 2 variétés de légumineuses candidates (Lablab et Cowpea), les différents partenaires ont décidé de modifier le poids de certaines actions notamment celles de l'action 2 et 3. Ainsi, l'UMR Agroécologie de l'INRA de DIJON s'est vu confier la responsabilité d'une action d'une ampleur plus importante que celle envisagée dans la manifestation d'intérêt, pour être en mesure de produire des inocula à base de rhizobia en capacité d'assurer la fixation symbiotique du N₂.

Dans le même temps, l'action d'évaluation de l'ingestion des fourrages produits sur des lots de bovins a été abandonnée, celle-ci s'avérait trop prématurée. En effet, avant de mesurer les différents paramètres de digestibilité au niveau des ruminants, il est important de caractériser de la meilleure façon les paramètres agronomiques afin que les réussites de ces cultures associées soient optimisées. De ce fait, cette partie zootechnique pourra être évaluée dans un projet ultérieur.

Enfin ce projet TROPI'COW permettra d'alimenter le projet H2020 DIVERSify : associations de cultures pour des écosystèmes résilients et une agriculture durable qui fédère un consortium de 23 partenaires internationaux constitué de chercheurs (écologues et agronomes), agriculteurs, conseillers agricoles, sélectionneurs et entreprises, dans le but de co-construire et proposer une nouvelle approche et des outils pour étudier les mécanismes liés aux bénéfices apportés par les associations de cultures et les pratiques permettant de mieux les valoriser (Karley, 2017).

Dernier point, ce travail sur l'association du maïs/sorgho ensilage avec ces légumineuses tropicales permettra aussi de compléter un article de la revue TCS Magazine s'intéressant aux maïs associés dans l'Ouest de la France.

6. Conclusion

Cette étude s'inscrit dans un contexte du programme de développement agricole et rural 2014-2020 en région. Elle permet de répondre à différents objectifs stratégiques dont le développement de l'autonomie fourragère et protéique des élevages, l'optimisation des systèmes de production et enfin la réduction des produits phytosanitaires. En effet, la dépendance aux sources extérieures de protéines via les différents tourteaux constitue une des problématiques majeures pour l'élevage des ruminants. Ceci a conduit à s'intéresser à de nouveaux types d'association pouvant permettre d'augmenter la quantité et la qualité du fourrage. Cette étude s'est donc consacrée à étudier l'opportunité de cultiver du maïs/sorgho ensilage avec des légumineuses tropicales. Ces associations innovantes répondant aux besoins des éleveurs du Sud-Ouest de la France s'inscrivent dans un programme de Recherche & Développement conduit par la Chambre d'Agriculture de Nouvelle-Aquitaine.

L'enquête réalisée auprès des éleveurs et les expérimentations menées par les différents organismes contactés ont permis dans un premier temps d'approcher quelques éléments de l'itinéraire technique (densité de semis, fertilisation) afin d'aider les éleveurs innovants voulant mettre en place des associations entre le maïs/sorgho ensilage et le Lablab ou le Cowpea dans leurs exploitations. Même si l'association maïs/Lablab semble la plus adaptée pour le moment compte tenu des connaissances actuelles.

Deuxième point, il ressort dans la majorité des associations étudiées des pertes de rendements et une très faible augmentation de la teneur en MAT du fourrage par rapport à un maïs cultivé seul. Le fourrage récolté ne permet donc pas de répondre à la problématique d'autonomie fourragère et surtout protéique des élevages.

Globalement d'un point de vue économique il ressort tout d'abord que l'association maïs/Haricot Tarbais n'est pas envisageable pour les éleveurs, les charges opérationnelles liées aux prix des semences étant trop élevées. Concernant l'association maïs/Lablab, la quantité de protéines produites ne semble pas pour le moment compenser le coût des charges opérationnelles. Même si un essai a montré une bonne rentabilité, le recours aux compléments azotés tel que le tourteau de soja semble encore incontournable dans les élevages.

Ces résultats sont à prendre avec précaution puisque le résultat majeur de ce travail réside dans le fait que ces légumineuses ne sont pas capables de fixer l'azote atmosphérique. En effet, les bactéries responsables de la symbiose ne sont pas présentes dans les sols métropolitains. Ceci semble donc compromettre le rendement et la valeur nutritive des fourrages obtenus avec ces associations.

Néanmoins, le projet TROPICOW devrait permettre d'éclaircir de nombreux points sur ces associations et de développer les inocula nécessaires au développement des nodosités chez ces légumineuses. Il est donc probable que ce type d'association dès lors que le fonctionnement symbiotique des légumineuses sera actif, génère des résultats positifs sur le fourrage récolté et donc sur la dépendance aux compléments azotés. Le but étant d'améliorer l'autonomie fourragère des exploitations et donc leur rentabilité, mais aussi de concourir à la diminution de l'utilisation d'intrants de synthèse (azote, herbicides). Au vu de l'engouement généré autour de cette technique innovante, les associations du maïs ou du sorgho ensilage avec des légumineuses tropicales pourraient dans les années à venir constituer une « nouvelle révolution » dans la production de fourrage innovant.

Bibliographie

- ABUSUWAR, A. O., et AL-SOLIMANI, S. J., 2013. Effect of chemical fertilizers on yield and nutritive value of intercropped sorghum bicolor and lablab purpureus forages grown under saline conditions. *The Journal of Animal and Plant Sciences*, 23, 271-276.
- AKHTAR, M. F., AHMAD, A. H., IBNI-ZAMIR, M. S., KHALID, F., MOHSIN, A., et AFZAL, M., 2013. Agro-qualitative studies on forage sorghum (*Sorghum bicolor* L.) sown alone and in mixture with forage legumes. *Pakistan Journal of Science*, 65, 179-185.
- ARMSTRONG, K. L. et ALBRECHT, K. A., 2008. Effect of Plant Density on Forage Yield and Quality of Intercropped Corn and Lablab Bean. In : *Crop Science*. 2008. Vol. 48, n° 2, p. 814. DOI 10.2135/cropsci2007.08.0487.
- ARMSTRONG, K. L., ALBRECHT, K. A., LAUER, J. G. et RIDAY, H., 2008. Intercropping Corn with Lablab Bean, Velvet Bean, and Scarlet Runner Bean for Forage. In : *Crop Science*. 2008. Vol. 48, n° 1, p. 371. DOI 10.2135/cropsci2007.04.0244.
- BEDOUSSAC, L., JOURNET, E.P., HAUGGAARD-NIELSEN, H., NAUDIN, C., CORRE-HELLOU, G., JENSEN, E., PRIEUR, L., JUSTES, E., 2015. Ecological principles underlying the increase of productivity achieved by cereal-grain legume intercrops in organic farming. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 35, 911-935.
- BOSSIS, N. et JOST, J., 2016. Observatoire de l'alimentation des chèvres laitières françaises. 2016. S.I. : Institut de l'Élevage.
- CATROUX, G., HARTMANN, A., et REVELLIN, C., 2001. Trends in rhizobial inoculant production and use. *Plant and Soil*, 230(1), 21-30.
- CHANG, Y. L., WANG, E. T., SUI, X. H., ZHANG, X. X., ET CHEN, W. X. (2011). Molecular diversity and phylogeny of rhizobia associated with Lablab purpureus (Linn.) grown in Southern China. *Systematic and applied Microbiology*, 34(4), 276-284.
- CHAPOT, JY, 1990. Dans le nord-est de la France, associations maïs fourrage - légumineuse à graines : compatibilité de la longueur des cycles. In : *Fourrages*. 1990. p. 17.
- CIRAD -GRET, 2002. *MEMENTO de l'agronome*. JOUVE. S.I. : s.n.
- CONTRERAS-GOVEA, F., MARSALIS, M., ANGADI, S., SMITH, G., LAURIAULT, L. M. et VANLEEUEWEN, D., 2011. Fermentability and Nutritive Value of Corn and Forage Sorghum Silage When in Mixture with Lablab Bean. In : *Crop Science*. 2011. Vol. 51, n° 3, p. 1307. DOI 10.2135/cropsci2010.05.0282.
- 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*. mars 2009. Vol. 149, n° 3-4, p. 298-306. DOI 10.1016/j.anifeedsci.2008.05.009.
- COULIBALY, D., DEMBELE, B. et SISSOKO, F., 2017. Développement des systèmes de production innovants d'association maïs/légumineuses dans la zone subhumide du Mali. In : . 2017. p. 11.
- COULIBALY, K., VALL, E., AUTFRAY, P. et SEDOGO, P. M., 2012. maïs/niébé et maïs/mucuna en situation réelle de culture au Burkina Faso: potentiels et contraintes. In : *Agronomie africaine*. 2012. p. 8.
- DAHMARDEH, M., GHANBARI, A., SYASAR, B. et RAMROUDI, M., 2009. Effect of Intercropping Maize (*Zea mays* L.) With Cow Pea (*Vigna unguiculata* L.) on Green Forage Yield and Quality Evaluation. In : *Science Alert*. 2009. p. 235-239.
- DEVUN, J., BRUNSCHWIG, P. et GUINOT, C., 2012. Alimentation des bovins : rations moyennes et autonomie alimentaire. In : *IDELE*. 2012. p. 46.
- DREVON, J.J., 2019. PROTOCOLE D'ENQUETE SUR LA NODULATION et les cycles C, N & P des légumineuses à graines dans le cadre de la stratégie Fabatropimed.
- EI-SARAG, E. I., 2013. Cowpea-sorghum mixtures as affected by water stress levels and forage mixing ratio in semi-arid regions. *World Journal of Agricultural Sciences*, 9, 325-334.
- GOFFART, A., 2011. Les territoires du maïs fourrage en France. In : *Arvalis – Insitut du végétal*. 2011. p. 8.
- GUIMAS, A., MILLEVILLE, C., BAVIERE, G., DELBECQUE, D, LANGLOIS, A., JEANNE, A., ROUGIER, P. et THERY, .E, 2015. *Résultats de 4 ans d'essais sur l'autonomie alimentaire en AB*. S.I.
- HASSEN, A., GIZACHEW, L. et RETHMAN, N. F. G., 2006. Effect of Lablab purpureus and *Vicia atropurpuria* as an intercrop, or in a crop rotation, on grain and forage yields of maize in Ethiopia. In : *Tropical Grasslands* 2006. Vol. 40, p. 111-118.
- HUSSON, O., CHARPENTIER, H., RAZANAMPARANY, C., MOUSSA, N., MICHELLON, R., NAUDIN, K., RAZAFINTSALAMA, H., RAKOTOARINIVO, C. et RAKOTONDRAMANANA, 2010. Maïs ou sorgho associé à une légumineuse alimentaire volubile (Dolique, Niébé ou *Vigna umbellata*). In : *Manuel pratique du semis direct à Madagascar*. GSDM/CIRAD. S.I. : s.n.
- IQBAL, Muhammad Aamir, HAMID, Abdul, AHMAD, Tanvir, SIDDIQUI, Muzammil Hussain, HUSSAIN, Imtiaz, ALI, Sajid, ALI, Anser, AHMAD, Zahoor, IQBAL, Muhammad Aamir, HAMID, Abdul, AHMAD, Tanvir, SIDDIQUI, Muzammil Hussain, HUSSAIN, Imtiaz, ALI, Sajid, ALI, Anser et AHMAD, Zahoor, 2019. Forage sorghum-legumes intercropping: effect on growth, yields, nutritional quality and economic returns. In : *Bragantia*. mars 2019. Vol. 78, n° 1, p. 82-95. DOI 10.1590/1678-4499.2017363.
- JUNTANAM, T., THIENGTHAM, J., SAWANON, S., TUDSRI, S., SIWICHAL, S., et PRASANPANICH, S., 2013. Effect on milk production in Thailand of silage from forage sorghum and forage sorghum with lablab purpureus. *Kasetsart Journal*, 47, 53-59.
- KARLEY, Alison, 2017. Synthesis report on national stakeholder meetings (Report, Public) Deliverable 1.1 (D1). In : . 2017. p. 33.
- KERMAH, M., FRANKE, A. C., ADJEI-NSIAH, S., AHIABOR, B. D. K., ABAIDOO, R. C. et GILLER, K. E., 2017. Maize-grain legume intercropping for enhanced resource use efficiency and crop productivity in the Guinea savanna of northern Ghana. In : *Field Crops Research*. novembre 2017. Vol. 213, p. 38-50. DOI 10.1016/j.fcr.2017.07.008.
- MAKOI, J. H. J. R., et NDAKIDEMI, P. A., 2010. Effect of plant densities and cropping systems on yield components of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) genotypes and sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Journal of Tropical Agriculture*, 48, 28-33.
- MARNAY, L., DOLIGEZ, P., TRILLAUD, C.G., 2014. Les aliments - L'analyse chimique des fourrages, Les Haras nationaux.
- MPAIRWE, D. R., SABIITI, E. N., UMMUNA, N. N., TEGEGNE, A. et OSUJI, P., 2003. Integration of forage legumes with cereal crops. I. Effects of supplementation with graded levels of lablab hay on voluntary food intake, digestibility, milk yield and milk composition of crossbred cows fed maize-lablab stover or oats-vetch hay ad libitum. In : *Livestock Production Science*. 1 février 2003. Vol. 79, n° 2, p. 193-212. DOI 10.1016/S0301-6226(02)00176-8.

- MURPHY, A.M. et COLUCCI, P.E., 1999. A tropical forage solution to poor quality ruminant diets: A review of *Lablab purpureus*. In : *University of Guelph, Canada*. 1999.
- PATHAK, G., TIWARI, R. C., JAT, A., SINGH, P., et SUMERIYA, H. K., 2013. Evaluation of fodder based cereal–legume intercropping systems for yield and quality. *Current Advances in Agricultural Sciences*, 5, 126-128.
- RATHORE, R. S., NAWANGE, D. D., SOLANKI, R. S., and SINGH, R. P., 2012. Identification of suitable ideotypes of blackgram (*Vigna mungo* L.) for intercropping with sorghum (*Sorghum bicolor* L.). *Legume Research*, 35, 72-74.
- RÉUSSIR SORGHO FOURRAGER, 2018. A chaque usage son sorgho fourrager. In : *Publi-information*. p. 2-3.
- ROUVERAND, Stéphan, 2018. SOS Protein, un plan d’actions pour promouvoir les légumineuses et accroître l’autonomie protéique dans l’Ouest de la France. In : *Les rendez-vous de l’INRA au Space*. 2018. p. 8.
- SEMENTAL, 2018. RONGAÏ BLACK STALION – AUGMENTEZ LA M.A.T. DE VOS MAÏS ET SORGHO
- SEMENTAL, 2019. RONGAÏ – AUGMENTEZ LA MAT DE VOS MAÏS
- SHAMSELDIN, A., ABDELKHALEK, A., et SADOWSKY, M. J., 2017. Recent changes to the classification of symbiotic nitrogen-fixing, legume-associating bacteria: a review. *Symbiosis*, 71(2), 91-109.
- SHARMA, R. P., RAMAN, K. P., SINGH, A. K., PODDAR, B. K., et KUMAR, R. (2009). Production potential and economics of multicut forage sorghum (*Sorghum sudanense*) with legumes intercropping under various row proportions. *Range Management & Agroforestry*, 30, 67-71.
- SURVE, V. H., ARVADIA, M. K., et TANDEL, B. B. (2012). Effect of row ratio in cereal-legume fodder under intercropping systems on biomass production and economics. *International Journal of Agriculture, Research and Review*, 2, 32-34.
- ZAMIR, S. I., HUSSAIN, M., KHURSHEED, H., KHAN, M. K., ZAMAN, Q., JAVEED, H. M. R., TABSSUM, F., HUSSAIN, M., MANZOOR, N., AMIN, F., MANSHA, M. N., NADEEN, M., MEHMOOD, N., ALI, A., SHAHERYAR, M., ZULFIQAR, S., IMRAN, M., YASMIN, M., et SALEEN, S., 2016. Effects of various tillage practices on the performance of forage sorghum and cowpea intercropping. *Transylvanian Review*, 24, 32-48
- ZIMMER, Stéphanie, MESSMER, Monika, HAASE, Thorsten, PIEPHO, Hans-Peter, MINDERMANN, Anke, SCHULZ, Hannes, HABEKUß, Antje, ORDON, Frank, WILBOIS, Klaus-Peter et HEB, Jürgen, 2016. Effects of soybean variety and Bradyrhizobium strains on yield, protein content and biological nitrogen fixation under cool growing conditions in Germany. In : *European Journal of Agronomy*. janvier 2016. Vol. 72, p. 38-46. DOI 10.1016/j.eja.2015.09.008.

Sitographie

- AFPF, 2018. Journées de Printemps de l’AFPF 2018 – Sécuriser son systèmes d’élevage avec des fourrages complémentaires : méteils, dérobées, crucifères. In : [en ligne]. 2018. [Consulté le 11 mars 2019]. Disponible à l’adresse : <https://afpf-asso.fr/revue/securiser-son-systeme-d-elevage-avec-des-fourrages-complementaires-meteils-derobees-cruciferes-i>
- AGRESTE, 2019. Surfaces 2019 : la baisse des surfaces en blé dur, colza et betteraves est compensée par la progression des autres céréales à paille, du maïs et du tournesol. In : [en ligne]. 2019. [Consulté le 17 mai 2019]. Disponible à l’adresse : http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/2019_062inforapgdscultures.pdf
- ARVALIS, 2015. La hauteur de coupe influence la qualité du fourrage. In : [en ligne]. 2015. [Consulté le 4 mars 2019]. Disponible à l’adresse : <https://www.arvalis-infos.fr/la-hauteur-de-coupe-influence-la-qualite-du-fourrage-@/view-19612-arvarticle.html>
- CHAMBRES D’AGRICULTURE FRANCE, 2014. NOS MISSIONS ET PRESTATIONS. In : *Chambre d’Agriculture FRANCE* [en ligne]. 2014. [Consulté le 10 mai 2019]. Disponible à l’adresse : <http://chambres-agriculture.fr/chambres-dagriculture/nos-missions-et-prestations/>
- CHAUVEAU, H., 2018. Ensilage de maïs 2018 : Une qualité correcte mais très hétérogène. In : [en ligne]. 2018. [Consulté le 5 avril 2019]. Disponible à l’adresse : <https://www.arvalis-infos.fr/ensilages-de-ma-s-2018-une-qualite-correcte-mais-tres-heterogene-@/view-28900-arvarticle.html>
- FAO, 2009. L’agriculture mondiale à l’horizon 2050. In : [en ligne]. 2009. [Consulté le 5 juin 2019]. Disponible à l’adresse : http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/Issues_papers/Issues_papers_FR/L%E2%80%99agriculture_mondiale_%C3%A0_l%E2%80%99horizon_2050.pdf
- GUYOMARD, S., 2018. Sorgho : Une culture aux multiples atouts. In : [en ligne]. 2018. [Consulté le 4 mai 2019]. Disponible à l’adresse : <http://www.web-agri.fr/conduite-elevage/culture-fourrage/article/le-sorgho-une-culture-aux-multiples-atouts-1178-141412.html>
- HINSINGER, P., 2012. Les cultures associées. Céréale / Légumineuse. En Agriculture « bas intrants » dans le Sud de la France. In : [en ligne]. 2012. [Consulté le 18 mars 2019]. Disponible à l’adresse : <http://inra-dam-front-resources-cdn.brainsonic.com/ressources/afile/246508-6e585-ressource-article-inra-toulouse-cultures-associees.html>
- MOQUET, M. et FERARD, A., 2018. Maïs fourrage : pourquoi récolter à 32-33 % de matière sèche ? In : [en ligne]. 2018. [Consulté le 2 avril 2019]. Disponible à l’adresse : <https://www.arvalis-infos.fr/ma-s-fourrage-recoltes-trop-secs-quelles-consequences--@/view-28325-arvarticle.html>
- PLANETOSCOPE, 2012. Planetoscope - Statistiques : Production mondiale de maïs. In : [en ligne]. 2012. [Consulté le 2 avril 2019]. Disponible à l’adresse : <https://www.planetoscope.com/cereales/193-production-mondiale-de-mais.html>
- VERGONJEANNE, R., 2014. Sorgho fourrager : L’utilisation des variétés multi-coupes. In : *Web-agri* [en ligne]. 2014. [Consulté le 14 mai 2019]. Disponible à l’adresse : <http://www.web-agri.fr/conduite-elevage/alimentation/article/l-utilisation-des-varietes-multi-coupes-1172-89426.html>
- VERGONJEANNE, R., 2016. Maïs fourrage Comment bien lire un bulletin d’analyse d’ensilage de maïs. In : *Web-agri* [en ligne]. 2016. [Consulté le 2 avril 2019]. Disponible à l’adresse : <http://www.web-agri.fr/conduite-elevage/culture-fourrage/article/lire-un-bulletin-d-analyse-d-ensilage-mais-1178-122859.html>

Annexe I : Questionnaire de l'enquête auprès des éleveurs

L'EXPLOITATION		
Mail :		
N° de téléphone :		
Localisation :		
SAU :	UTH :	Production animale (bovins/caprins; lait/viande) :
Nombres de têtes ? Total UGB ? :		
Description du cheptel // Production de lait ?		
Assolement 2018-2019 :		
Conduite des cultures : Conventioennel/Bio		
Travail du sol : labour systématique // labour occasionnel (fréquence ?) // TCS // SD		
Associations maïs/sorgho mises en place sur l'exploitation : oui/non		
Rotations pour ce type d'association (dans quelle rotation est-il intégré, précédent/suivant)		
Nombres d'années que vous avez mis en place ce type d'association ?		

DESCRIPTION DU SOL	
Nom du sol :	
- parcelle homogène (oui/non, si non préciser)	
- RU (mm)	
- MO (%)	
- pH	
- % de cailloux en surface	
- Hydromorphie (oui/non)	
Analyse de sol disponible : (non/oui)	

Avantages/inconvénients du sol	
Avantages <small>(travail du sol, accessibilité sur la parcelle)</small>	Inconvénients <small>(stress hydrique, cailloux, hydromorphie)</small>

Etat sanitaire de la parcelle avant essai (à dire d'agriculteurs)

☞ **Adventices** : Rien A Signaler ou ...

☞ **Ravageurs** : Rien A Signaler ou ...

☞ **Maladies** : Rien A Signaler ou ...

Historique de la parcelle - précédent cultural

Année récolte	année n-1
Culture	
Rendement (qx ou t/ha)	
Dose d'azote (kg/ha)	
Devenir des résidus	
Dernière année où il y a eu un protégé ? Lequel (pois, soja...)	

LE SEMIS (ASSOCIATION)				
Semis		Variété/Indice 1 :	Variété 2 :	Variété 3 :
	Date de semis			
	Densité (doses...)			
	Profondeur de semis			
Ecartement inter-rang				
Approvisionnement en semence ? Coût ?				
Conditions de réussite de l'association :				
Matériel utilisé + dates (semoir...) :				
Préparation du sol (labour...) :				
Difficulté de semis (oui/non)				
Commentaires (association sur le rang/en inter-rang)				

L'ITINERAIRE TECHNIQUE (ASSOCIATION)									
parcelle :				Intrants ou Récolte			Outils utilisés (outils + puissance tracteur (cv))	Justifications de l'intervention (cibles,)	Observations générales
	Fréquence x surface	Intervention	date	nature	qtité / densité	unité			
Fertilisation azotée (organique, minérale)									
Fumure (P, K, S + oligo-éléments)									
Désherbage chimique / mécanique									
Insecticides Autres ravageurs (gestion chimique, biologique, mécanique)									
Irrigation ("tour d'eau")									
Récolte (Rot, humidité, protéines, teneur huile)	Date	Rendement	Méthode de récolte	% Matière sèche	humidité	MAT	teneur en huile		
	Conditions : sécheresse, gel, humidité du grain								
	Problèmes à la récolte								
Qu'est ce qui a déclenché la récolte (calendaire, grain...)									
Qu'est ce qui pourrait être amélioré ?									
Est-ce qu'il y a eu des problèmes au niveau de désherbage (outils, arrachage...)?									
Est-ce qu'il y a eu des problèmes de conservation après récolte (humidité, jus qui coule...)?									
Quel était le mode de conservation (type de silo...)?									

LE SEMIS (MAÏS/SORGHO SEUL)		
Semis		Variété/Indice :
	Date de semis	
	Densité (doses...)	
	Profondeur de semis	
	Ecartement inter-rang	
Matériel utilisé (semoir...) :		
Préparation du sol (labour...) :		
Commentaires :		

L'ITINERAIRE TECHNIQUE (MAÏS/SORGHO SEUL)									
parcelle :				Intrants ou Récolte			Outils utilisés (outils + puissance tracteur (cv))	Justifications de l'intervention (cibles,)	Observations générales
	Fréquence x surface	Intervention	date	nature	qité / densité	unité			
Fertilisation azotée (organique, minérale)									
Fumure (P, K, S + oligo- éléments)									
Désherbage chimique / mécanique									
Insecticides Autres ravageurs (gestion chimique, biologique, mécanique)									
Irrigation ("tour d'eau")									
Récolte (Rdt, humidité, protéines, teneur huile)	Date	Rendement	Méthode de récolte	% Matière sèche	humidité	MAT	teneur en huile		
	Conditions : sécheresse, gel, humidité du grain								
	Problèmes à la récolte								

LES EFFETS AGRONOMIQUES DE L'ASSOCIATION

Quels objectifs au départ pour faire ce type d'associations (*gestion des adventices, azote, protéines, tps de travail, gain d'argent*) ?

L'objectif a-t-il été atteint ?

Effets bénéfiques apporté par l'association au niveau cultural par rapport à un maïs seul (*azote, adventices*) ?

Développement de la plante associée en cours de culture ? A la récolte ?

Physiologie de la plante associée à la récolte (*hauteur, feuilles vertes, repousses...*) ?

Homogénéité de la parcelle ? Zones particulières sur la parcelle (*type de sol...*) ?

Quelle est la culture suivant cette association ?

Effets apporté par l'association pour la culture suivante (*azote, adventices, maladies, difficulté de semis...*) ?

Est-ce que-vous avez observé des nodosités en arrachant des pieds ? Couleur ?

Est-ce une charge de travail importante ? Temps supplémentaire par rapport à la culture du maïs seul ?

Avantages de ces associations ?

Inconvénients ?

LES EFFETS DU FOURRAGE SUR LE TROUPEAU

Quelle est la ration donnée au pic de lactation/par tête ? (*taux de matière brute/sèche en kg*)

Quel est le pourcentage de fourrage/concentré dans la ration ?

Est-ce que l'association a fait changer cette proportion ?

Quels sont les concentrés que vous achetez (*origine, type, proportion, coût*) ?

Quel a été l'effet de l'association sur le taux de protéines (MAT) par rapport au maïs seul ?

Est-ce cela vous a permis de réduire vos achats de concentrés protéiques ?

Est-ce que qu'il y a eu un effet sur les bovins (*appétence, état de forme..*) ? Qualité du lait ?

Est-ce qu'il y eu des problèmes pour la conservation/distribution ? Des refus ?

Avantages de ce fourrage ?

Inconvénients ?

PERSPECTIVES

Qu'est ce qui limite la surface en association maïs/sorgho avec des légumineuses tropicales ?

Avenir de ces associations sur la ferme ? Freins/Motivations

D'autres tests prévus ?

Idées/Suggestions sur ces associations ?

Partenaires qui auraient fait des mesures chez vous ? Qui ?

Connaissez-vous d'autres éleveurs mettant en place ce type d'associations ?

Annexe II : Protocole sur la nodulation du Lablab et du Cowpea

Rhizobium (pluriel : rhizobia) : Les rhizobia sont des bactéries fixatrices d'azote vivant soit libres dans le sol, soit en association symbiotique avec des plantes légumineuses. Cette symbiose confère aux fabacées l'aptitude de fixer l'azote de l'air (Bruand, 2011).

Inoculum (pluriel : inocula) : En agriculture, échantillon de mycorhizes ou bactéries destiné à être introduit au sein d'un milieu favorable à sa multiplication dans le but de s'associer en symbiose avec les espèces végétales ciblées (Neyra, 2012).

Objectifs :

A ce jour, plusieurs tests ont été réalisés par des éleveurs et différents organismes sur tout le territoire métropolitain. La présence de nodosités chez ces 2 espèces n'a quasiment pas été constatée. En effet, il n'a jamais été observé de nodosités sur le Lablab sur toutes les expériences répertoriées en France. Concernant le Cowpea, les nodosités sont quasiment toujours absentes mais sur une parcelle, la présence de nodosité a été relevée sans avoir pu vérifier si elles étaient fonctionnelles. Cette parcelle en question avait un précédent soja 2 ans auparavant. Or, le soja a la capacité de couvrir une large partie de ses besoins en azote grâce à la symbiose avec une bactérie spécifique : *Bradyrhizobium japonicum*. Ces bactéries étant naturellement absentes des sols européens, il est nécessaire de les apporter sous forme d'inoculum. La littérature montre que le Lablab et le Cowpea nodulent facilement dans leurs pays d'origine (Afrique) puisque les bactéries responsables de la symbiose sont naturellement présentes dans les sols, ce qui entraîne la nodulation. Mais en France, ces bactéries ne sont pas présentes tout comme le soja. De ce fait, ces légumineuses ne jouent pas leur rôle de légumineuses en captant l'azote atmosphérique et elles sont ainsi aussi dépendantes pour l'azote que le maïs ou le sorgho.

Hypothèse : L'inoculum de soja aurait entraîné la nodulation du Cowpea

Ainsi, cette étude conduite en conditions semi-contrôlées vise à tester différents inocula utilisés sur le territoire métropolitain afin de voir si l'inoculum permet :

- Le développement des nodosités chez ces 2 espèces
- La fixation de l'azote atmosphérique via des nodosités fonctionnelles

Matériels et méthodes :

Le protocole expérimental est basé sur celui mis en place par J.J. DREVON (INRA Eco&Sols, Montpellier).

Les espèces utilisées sont celles commercialisées par la société semencière SEMENTAL :

- Le *Lablab purpureus* : Variété Rongai
- Le *Cowpea* : Variété Black Stalion

Les PMG ont été calculé pour le Lablab et le Cowpea et sont de 224 et 66 grammes respectivement. En parallèle, la faculté germinative de chaque espèce a été mesurée sur 50 graines. Cette faculté est de 98% pour ces 2 variétés.

Les inocula utilisés sont ceux de la luzerne et du soja disponibles à l'INRA FERLUS (les Verrines, Lusignan) :

- Inoculum luzerne : NPPL Tourbe Inoculum Luzerne (BASF Agri. Specialities Ltd Littlehampton, UK ; Lot : A26 B251)
- Inoculum soja : Rizoliq Top (RIZOBACTER ARGENTINA S.A. ; Lot Rizoliq Top : J0010953 ; Lot Premax : J0010981)

Traitements :

- T1 : Témoin, sans apport d'azote ni d'inoculum
- T2 : Inoculum de soja sans apport d'azote
- T3 : Inoculum de soja avec 50 kg/N/ha⁻¹ à la germination
- T4 : Inoculum de luzerne sans apport d'azote
- T5 : Inoculum de luzerne avec 50 kg/N/ha⁻¹ à la germination

Les graines de Lablab et de Cowpea ont été semées le 03/05/2019 dans différents pots. Ce test se réalise normalement sur substrat neutre (sable, perlite) mais pour des raisons logistiques, ce test a été réalisé avec un sol provenant l'INRA FERLUS (les Verrines, Lusignan) composés de Terres Rouges à Châtaigniers (limon sur argile). Ce sol a été récolté dans les 30 premiers centimètres (zone majoritaire d'enracinement des plantes et de présence des rhizobia) et mélangé. 5 modalités sont testées sur les 2 espèces. Le traitement T1 correspond au témoin sans ajout d'inoculum ni d'azote. Les traitements T2 et T4 correspondent aux traitements avec l'inoculum de soja et de luzerne respectivement. Enfin, dans les traitements T3 et T5, un ajout 50 kg/N/ha⁻¹ au semis a été effectué en plus des inocula de soja et de luzerne respectivement. Chaque variété est testée avec les 5 traitements et 3 répétitions sont effectuées pour chaque traitement, ce qui correspond à 30 pots (**Fig. 1 et 2**).

Dispositif expérimental :

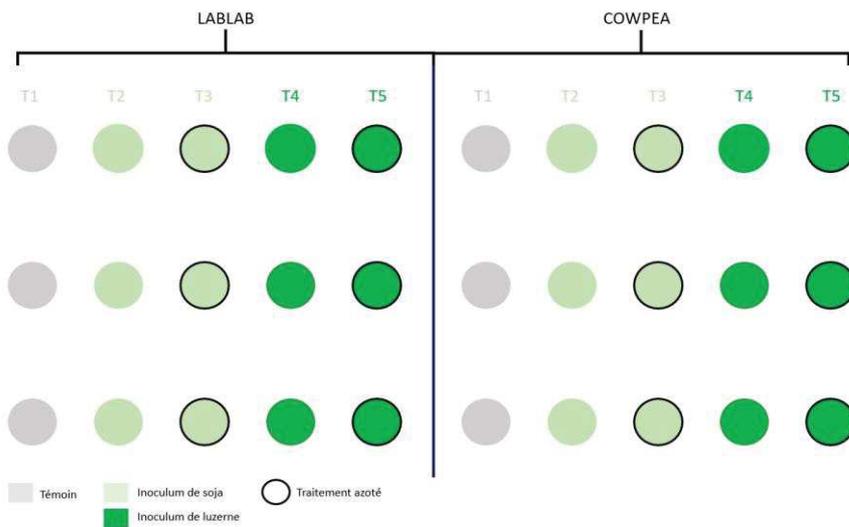


Figure 1 : Dispositif expérimental des différents tests en pots sur le Lablab et le Cowpea



Figure 2 : Dispositif expérimental en conditions semi-contrôlées des différents tests en pots sur le Lablab et le Cowpea

Observation des nodosités :

Les nodosités seront observées de deux manières, à l'œil nu et sous microscope optique :

L'activité des nodosités pourra s'évaluer par l'observation de leur couleur sur le terrain. En effet, la couleur rose révèle la présence de leghémoglobine, une protéine intervenant dans la fixation d'azote : il y a fixation d'azote. À l'inverse, la couleur blanche révèle un défaut de fixation : les bactéries sont inactives et donc la plante consomme de l'azote (Paysan Breton, 2015).

Deuxièmement, la présence des bactéries responsables de la symbiose pourra être observée au microscope selon le protocole suivant :

- Couper un fragment très fin de racine à un niveau portant un renflement appelé nodosité et couper un fragment de la racine témoin
- Colorer ces prélèvements (1 minute) en mettant les prélèvements dans un verre de montre contenant une goutte de bleu de méthylène
- Prélever les échantillons, les poser sur deux lames, faire un écrasement)
- Ajouter une goutte d'eau et recouvrir chaque lame d'une lamelle puis observer chaque lame au microscope

Au fort grossissement, il sera possible de distinguer de grosses cellules déformées, contenant une quantité importante de bactéries avec le bleu de méthylène.

Résultats attendus :

Ce protocole permettra dans un premier temps de caractériser les paramètres agronomiques concernant la physiologie de ces légumineuses tropicales :

- % de levée
- Différence morphologique entre le Lablab et le Cowpea
- Nombre de jours entre le semis et la levée (°j)
- Vitesse de développement des 2 espèces en fonction des différents stades physiologiques (°j)

Dans un second temps, les mesures de nodulation permettant d'évaluer l'état de la symbiose pourront être déterminées. Une nodulation faible ou une absence totale de nodosités peuvent être dues soit à une trop faible population de rhizobia dans le sol, soit à l'inhibition de la nodulation par des facteurs défavorables du milieu : ceci peut être mis en évidence par l'analyse des corrélations de la nodulation avec les paramètres du milieu si le facteur limitant est l'un de ceux pris en compte dans l'enquête, ici l'azote.

La présence ou l'absence de nodosités sera ainsi comparé entre les différents traitements à l'œil nu et sous loupe binoculaire dans l'optique de relevé d'une part la fonctionnalité des nodosités et d'autre part la présence / absence des bactéries responsables de la symbiose dans les racines.

 	Diplôme et Mention : Master Biologie, Agrosociétés Parcours : Amélioration, Production et Valorisation du Végétal Option : Fonctionnement et Gestion des Agrosystèmes Responsable d'option : Matthieu CAROF
Auteur : RAULT Anthony Date de naissance* : 02/03/1995	Organisme d'accueil : Chambre Régionale d'Agriculture de Nouvelle-Aquitaine Adresse : INRA les Verrines, BP6, 86600 Lusignan
Nb pages : 25 Annexes : 2	
Année de soutenance : 2019	Maître de stage : Sébastien MINETTE
Titre français : Opportunités et intérêts de cultiver du maïs ou sorgho fourrage en association avec des légumineuses tropicales dans le Sud-Ouest de la France	
Titre anglais : Opportunities and interests to grow maize or sorghum silage in association with tropical legumes plant in South West France	
Résumé : Afin d'améliorer l'autonomie protéique sur leurs exploitations, et diminuer l'utilisation des intrants, certains éleveurs veulent essayer de nouvelles associations culturales permettant de récolter un fourrage de meilleure qualité et ainsi réduire l'achat des compléments azotés. La Chambre d'Agriculture de Nouvelle-Aquitaine souhaitait évaluer la faisabilité de cultiver du maïs/sorgho ensilage avec des légumineuses tropicales. L'enquête effectuée auprès des éleveurs implantant ces associations, la bibliographie ainsi que les expériences menées par différents organismes ont permis de s'intéresser plus particulièrement à l'association du maïs ensilage avec le <i>Lablab Pupureus</i> (Lablab) et le <i>Vigna unguiculata</i> (Cowpea). Des recommandations sur l'itinéraire technique ont pu être établies en fonction des techniques majoritairement utilisées par les éleveurs. Au niveau agronomique, il a été remarqué que les rendements ainsi que les valeurs alimentaires étaient bien en-dessous de ceux espérés. En effet, l'association pour le moment ne permet pas de produire plus de protéines par rapport à un maïs cultivé seul. Un constat important de cette étude réside dans le fait que la présence de nodosités n'a quasiment pas été observée chez ces 2 légumineuses. Le potentiel de ces associations reste cependant très intéressant, les études à venir vont donc se concentrer à développer les inocula permettant le développement des nodosités afin que ces 2 espèces jouent pleinement leur fonction de légumineuses.	
Abstract: In order to improve protein autonomy on their farms and reduce the use of inputs, some breeders want to try new combinations of crops to harvest better quality fodder and thus reduce the purchase of nitrogen complements. The Chamber of Agriculture of New Aquitaine wanted to evaluate the feasibility of growing maize / sorghum silage with tropical legumes. The investigation carried out among breeders implanting these associations, the bibliography as well as the tests carried out by various organisms led to focus more particularly on the combination of corn silage with <i>Lablab Pupureus</i> (Lablab) and <i>Vigna unguiculata</i> (Cowpea). Recommendations on the technical itinerary could be made from the practices mainly used by the breeders. At the agronomical level, it was noted that yields and food values were well below expectations. Indeed, at the moment, this association does not make it possible to produce more proteins compared to a corn grown alone. An important observation of this study lies in the fact that the presence of nodules has hardly been observed on these 2 legumes. The potential of these associations remains however very interesting, the future studies will thus concentrate on developing the inocula allowing the development of nodules in order for these 2 species to play their expected legumes function.	
Mots-clés : nodosités, MAT, rendement, légumineuses, autonomie protéique	
Key Words: nodules, MAT, yield, legumes, protein autonomy	

* Élément qui permet d'enregistrer les notices auteurs dans le catalogue des bibliothèques universitaires