

La revue francophone sur les prairies et les fourrages

The French Journal on Grasslands and Forages

Les articles publiés dans Fourrages sont répertoriés dans : Agris, Resagri, Herbage Abstracts, Rural Development Abstracts, Web of Science, World Agricultural Economics and Rural Sociology Abstracts ainsi que par ISI.

Cet article de la revue *Fourrages*,
est édité par l'Association
Francophone pour les Prairies et les
Fourrages

Pour toute recherche
dans la base de
données, pour vous
abonner ou pour
soumettre un article
dans la revue :

<https://afpf-asso.fr/informations-sur-la-revue-fourrages>

ISSN papier 0429-2766

ISSN numérique 2402-7294

N° Commission paritaire : 1127 G 82356+

Notre association a pour objectif, depuis 1959 de mieux diffuser les résultats de la recherche autour des fourrages et des prairies. Pour soutenir notre action et adhérer, consultez notre site internet.

ASSOCIATION MAÏS FOURRAGE – LABLAB : INTÉRÊT AGRONOMIQUE ET VALEURS NUTRITIVES EN CONDITIONS FRANÇAISES

Mise en situation

L'association maïs fourrage-lablab est souvent envisagée pour améliorer la teneur en azote du fourrage tout en réduisant les intrants. Les essais conduits dans le cadre du projet TROPICOW montrent toutefois que, dans les conditions françaises, cette piste reste peu concluante. Cet article en analyse les limites agronomiques et nutritionnelles.

Résumé

L'association du maïs fourrage avec le Lablab purpureus, une légumineuse tropicale, est étudiée pour améliorer la qualité protéique du fourrage tout en réduisant les intrants azotés. Le projet TROPICOW (CASDAR IP1628056) a testé cette association sur cinq sites en France entre 2022 et 2024, avec inoculation de rhizobium spécifique pour favoriser la fixation symbiotique de l'azote.

Les résultats montrent que l'introduction du lablab, même inoculé, ne permet pas de maintenir les rendements observés avec un maïs seul conduit à pleine densité : en moyenne, l'association entraîne une baisse de 1,5 t MS/ha, soit -10.6%. Le lablab contribue à 12 % du rendement total, avec une production atteignant 1,6 t MS/ha. L'inoculation améliore légèrement la biomasse produite et la teneur en MAT du lablab (+1,1 point), sans effet significatif.

Les paramètres de valeur nutritive du lablab mesurés in sacco ont été sensiblement différents à la référence INRAE. Les mesures réalisées sur le co-ensilage de maïs fourrage et de lablab à différentes proportions ont révélé une baisse de la dégradabilité ruminale de l'amidon dès 15 % de lablab dans le mélange, pouvant atteindre -11 points à partir de 30 % d'incorporation. L'inoculation n'a pas eu d'effet sur la qualité du fourrage fermenté.

En conclusion, dans les conditions testées, l'association maïs-lablab ne présente pas d'intérêt agronomique, zootechnique ou économique suffisant. D'autres modalités d'introduction du lablab, différées dans le temps ou selon d'autres systèmes de culture, pourraient être explorées pour mieux valoriser son potentiel.

Summary

Maize forage-Lablab association: agronomic interest and nutritive values under French conditions

The association of forage maize with Lablab purpureus, a tropical legume, is being studied to improve the protein content of forage while reducing nitrogen inputs. The TROPICOW project (CASDAR IP1628056) tested this association at five sites in France between 2022 and 2024, using a specific rhizobium inoculant to promote symbiotic nitrogen fixation.

The results show that the introduction of lablab, even when inoculated, does not maintain the yield levels observed with sole maize at full density: on average, the association led to a decrease of 1.5 t DM/ha, or -10.6%. Lablab contributed 12% of the total yield, producing up to 1.6 t DM/ha. Inoculation slightly improved biomass production and crude protein content (+1.1 points), but the effect was not statistically significant.

The nutritive value parameters of lablab measured in sacco were noticeably different from the INRAE reference. Analyses of co-ensiled maize and lablab at varying proportions revealed a decrease in ruminal starch degradability starting at 15% lablab inclusion, with reductions of up to -11 points at 30% inclusion. Inoculation had no effect on the quality of the fermented forage.

In conclusion, under the tested conditions, the maize-lablab association did not demonstrate sufficient agronomic, zootechnical, or economic interest. Alternative methods of introducing lablab, delayed in time or integrated into different cropping systems, could be explored to better harness its potential.

Auteurs

Gelineau S.¹, Chauveau H.¹,
Bourlet C.², Guerin O.³

¹ARVALIS, STATION EXPÉRIMENTALE DE LA
JAILLIÈRE - LA CHAPELLE SAINT SAUVEUR
44370 - LOIREAUXENCE

²CHAMBRE D'AGRICULTURE DE RÉGION
DES PAYS-DE-LA-LOIRE - 9 RUE ANDRÉ-
BROUARD - 49105 ANGERS

³CHAMBRE RÉGIONALE D'AGRICULTURE
NOUVELLE-AQUITAINE - BOULEVARD DES
ARCADES - 87060 LIMOGES CEDEX 2

Auteur correspondant :
s.gelineau@arvalis.fr

Mots clés

Maïs Fourrage, Autonomie
protéique, légumineuse tropicale

Key words

Silage Maize, tropical legume,
Protein autonomy

Références de l'article

Gelineau S., Chauveau H.,
Bourlet C., Guerin O. (2026).
Association maïs fourrage -
lablab : intérêt agronomique et
valeurs nutritives en conditions
françaises, *Fourrages* 266, 17-
28, <https://doi.org/10.64256/FOU2500>

Article accepté pour publication
le 16 juin 2026.

1. Introduction

Dans un contexte global de recherche de systèmes fourragers plus résilients, économes en intrants azotés et à haute valeur nutritionnelle, l'association du maïs fourrage avec des légumineuses tropicales suscite un intérêt croissant. Le *lablab purpureus*, plante légumineuse grimpante cultivée sous climat tropical et subtropical, se distingue par un bon développement végétatif, une teneur élevée en matière azotée (15.7 % de MAT selon Inra 2018), ainsi qu'une bonne tolérance aux stress hydrique et thermique. Il a montré un potentiel agronomique et nutritionnel notable en association avec le maïs, notamment dans plusieurs études menées aux États-Unis, en Afrique et en Asie (Armstrong *et al.* 2008, Coulibaly *et al.* 2012, Emile *et al.* 2016, Coulibaly *et al.* 2017, Zhang *et al.* 2022).

Aux États-Unis, Les travaux d'Armstrong *et Albetch* (2008) ont mis en évidence qu'en inoculant le lablab avec des rhizobium adaptés, l'association maïs-lablab permettait une augmentation significative du rendement en matière sèche (jusqu'à +1 t MS/ha) et une amélioration de la teneur en matières azotées totales (MAT) d'environ +0,5 point par rapport au maïs pur. Dans une approche plus fine sur les densités de semis, les auteurs ont également montré que des stratégies d'implantation favorisant le lablab pouvaient générer des gains encore plus importants en MAT (jusqu'à +2,2 points), mais au détriment du rendement fourrager global (-9 t MS/ha).

D'autres bénéfices de l'association maïs-légumineuse sont également rapportés dans la littérature : meilleure couverture du sol, réduction des adventices (Kermah *et al.*, 2017), apports potentiels en azote via la fixation symbiotique, ou encore amélioration de la biodisponibilité de certains éléments chimiques du sol (Latati *et al.*, 2014).

Malgré ces résultats prometteurs à l'international, les tentatives d'introduction de légumineuses tropicales en association avec le maïs fourrage en France métropolitaine ont, jusqu'ici, rencontré des succès limités. Historiquement, des essais ont été menés dans les années 1980, puis plus récemment avec diverses espèces : soja, haricots (tarbais ou d'Espagne), féverole ou Cowpea. Ces dispositifs ont révélé plusieurs contraintes agronomiques (incompatibilité des cycles culturaux, verse, difficultés de semis et de récolte), techniques (taille des graines, absence d'inoculation efficace) et économiques (coût élevé des semences de haricots), freinant leur adoption par les éleveurs (Emile *et al.*, 2016 ; Rault, 2019).

Concernant spécifiquement le lablab, quelques essais ont été menés à partir de 2018 dans le Sud-Ouest de la France. Ils ont mis en évidence des difficultés d'implantation, une contribution limitée de la légumineuse au rendement total, et surtout une absence quasi systématique de nodulation, expliquant le faible gain en MAT du mélange par rapport au maïs pur. En l'absence d'inoculation adaptée, la plante ne semble pas fixer l'azote atmosphérique en conditions métropolitaines, et ne délivre donc pas les bénéfices attendus sur la qualité du fourrage (Rault, 2019).

Ces limites observées en France pourraient toutefois être levées grâce à l'identification de souches de rhizobium compatibles avec les légumineuses tropicales. Des tests d'inoculation menés en 2020 par UMR Agroécologie de Dijon sur *Lablab purpureus* et *Vigna unguiculata* (cowpea) ont montré qu'en conditions contrôlées, aucune nodulation ne survenait sans inoculation, confirmant l'absence de souches locales efficaces. En revanche, l'inoculation du lablab avec une souche spécifique (*Bradyrhizobium sp.*) issue d'une collection internationale a permis une nodulation systématique des plantes et une coloration verte plus soutenue du feuillage, suggérant une meilleure nutrition azotée et la mise en place probable d'une fixation symbiotique (résultats non publiés). Ces résultats, bien que préliminaires, ont contribué à justifier le dépôt du projet TROPICOW dédié à l'étude de l'association maïs-lablab en conditions françaises. L'article ci-dessous présente les résultats issus de cette étude. Deux dispositifs complémentaires ont été mis en place : des essais en microparcelles afin d'étudier le comportement agronomique de l'association, et un essai in sacco visant à caractériser la valeur nutritive du lablab et à identifier les intérêts et les limites du co-ensilage avec le maïs.

2. Matériels et Méthodes

2.1 Essai en microparcelles de l'association

2.1.1 Dispositif expérimental et conduite de l'essai

18 essais ont été conduits entre 2022 et 2024 sur un large gradient pédoclimatique de la façade Ouest par les partenaires du projet TROPICOW, allant de la Mayenne jusqu'aux Pyrénées-Atlantiques. Le dispositif expérimental retenu est un bloc complet randomisé, avec 3 ou 4 répétitions selon les sites. Les microparcelles comprenaient quatre rangs (en pur ou en association), avec un inter-rang de type maïs standard, soit environ 75 cm. Les deux rangs centraux étaient récoltés, représentant une surface minimale de 9 m² par modalité.

Hors facteur étudié, l'ensemble de l'essai était conduit de façon homogène. La variété de maïs utilisée sur chaque site était adaptée au contexte pédoclimatique local et semblable à celle cultivée par l'agriculteur de la parcelle, afin d'assurer une bonne représentativité agronomique. Le semis était réalisé en un seul passage, avec les deux espèces mélangées sur le rang dans le cas des associations.

L'inoculation du lablab était effectuée dans les heures précédant le semis, conformément aux préconisations de l'UMR Agroécologie de Dijon, qui assurait également la production des inocula. Afin de garantir une levée homogène les semis ont été retardés de 7 à 15 jours par rapport aux préconisations habituelles pour le maïs fourrage.

La fertilisation a été conduite selon les pratiques locales, en s'appuyant sur les interventions usuelles des agriculteurs partenaires. La gestion des adventices a fait appel à des stratégies diversifiées, combinant désherbage mécanique et/ou désherbage

chimique selon les contextes. Les traitements chimiques ont mobilisé différentes matières actives : S-métolachlore et pendiméthaline en pré-levée, puis bentazone en post-levée à partir du stade 3 feuilles.

2.1.2 Modalités testées

Les modalités mises en place visaient à évaluer l'intérêt agronomique d'une association maïs-lablab en comparaison à la référence maïs fourrage en pur. Deux témoins maïs ont été implantés : l'un à 100 % de la densité de semis usuelle de l'agriculteur (témoin pleine dose), et l'autre à 85 % de cette densité (témoin dose réduite).

Un socle commun à tous les sites visait à étudier l'effet de l'association et de l'inoculum, en associant à une dose réduite de maïs la variété Sustain à 70 000 graines/ha, inoculée ou non par un rhizobium. Au cours des trois années du projet, plusieurs souches de rhizobium ont été testées (Tableau 1). INRA 1 et INRA 2 sont des souches spécifiquement sélectionnées par l'UMR Agroécologie de Dijon. CB1024 est la souche de rhizobium utilisée dans le produit commercial nodule N vendu en Australie. Dans les analyses suivantes, toutes les modalités inoculées ont été traitées comme une seule modalité (M + SUSTAIN 70 Inoc.), indépendamment de la souche de rhizobium, puisque l'effet souche n'a pas eu d'impact significatif sur le rendement ou la MAT. Ainsi, un essai donné peut comporter plusieurs modalité M + SUSTAIN 70 Inoc.

L'effet de la dose d'association de lablab a été évalué à travers deux modalités réduisant la densité de semis à 50 000 et 30 000 graines/ha. Enfin, la variété Sustain a été comparée selon les sites et les années aux variétés Opale et Rongai. Toutes les modalités sont reprises dans le Tableau 2.

Tableau 1 : Souches de Rhizobium utilisées dans le réseau d'essai selon l'année (1 Nodule N = Produit formulé et commercialisé en Australie par la Société SEMENTAL composé de la souche CB1024)

Table 1: Rhizobium strains used in the trial network by year (1 nodule n = a formulated product marketed in australia by the company semental, containing strain cb1024)

	2022	2023	2024
INRA 1	X	X	
INRA 2	X	X	X
CB 1024	X	X	
Nodule N ¹			X

Les résultats des modalités M + SUSTAIN 30 Inoc. et M + RONGAI 70 Inoc. doivent toutefois être interprétés avec prudence, car elles ne sont présentes que sur respectivement un et deux sites parmi les cinq retenus dans l'analyse.

2.1.3 Notations

Après la levée, une évaluation qualitative de l'implantation a été réalisée sur chaque microparcelle. Elle comprenait un comptage des pieds par espèce (maïs et lablab) sur la totalité des deux rangs centraux destinés à la récolte, soit 2 fois 6 mètres minimum selon la dimension des microparcelles.

Le suivi du développement du maïs incluait l'enregistrement des dates d'atteinte des stades suivants : 4 feuilles, 6 feuilles, 8 feuilles, 12 feuilles et floraison femelle. À chacun de ces stades, la hauteur des deux espèces (maïs et lablab) était mesurée, à raison de quatre mesures par microparcelle. Ces résultats ne sont pas présentés ici, en raison de l'absence d'effet significatif des facteurs étudiés.

À la récolte :

- Un prélèvement d'au moins 2 mètres de long sur les deux rangs centraux récoltés a été réalisé pour effectuer un tri manuel entre les deux espèces, permettant de déterminer leurs proportions brutes. Deux échantillons ont ensuite été prélevés pour chaque espèce : l'un destiné à la détermination de la matière sèche (séchage 48 h à 80 °C), l'autre à l'analyse de la valeur alimentaire (séchage 72 h à 60 °C).
- La récolte complète des deux rangs centraux restants a permis de mesurer le rendement brut de chaque modalité.

Ainsi le rendement en matière sèche et la proportion de chaque espèce au sein du mélange récolté a pu être calculé.

Les analyses de la valeur alimentaire des fourrages ont été réalisées par le laboratoire GERM-SERVICES, après regroupement des échantillons de chaque microparcelle par modalité. Ainsi, pour chaque essai, une analyse a été effectuée par modalité et par espèce. Pour le maïs, les analyses ont été effectuées par spectroscopie dans le proche infrarouge (SPIR). Pour le lablab, des analyses par méthode chimique ont été réalisées en 2022 et 2023, puis remplacées par la SPIR en 2024.

2.1.4 Critères d'exclusion des essais

Certains essais ont été écartés de l'analyse en raison de conditions ne permettant pas une évaluation fiable des effets des facteurs étudiés. L'exclusion reposait sur les critères suivants :

- **Mauvaise implantation du lablab** : lorsque la légumineuse était très mal implantée, du fait d'une levée insuffisante ou de problèmes techniques, notamment des phytotoxicités liées aux herbicides.
- **Forte hétérogénéité intra-parcellaire** : certains essais présentaient des variations importantes d'implantation entre microparcelles, rendant impossible l'analyse des effets des modalités.
- **Concurrence adventice excessive** : en cas d'échec du désherbage, le développement trop important d'adventices empêchait de juger correctement l'intérêt agronomique de l'association maïs-lablab.
- **Écart de densité maïs entre modalités** : des différences nettes de levée du maïs entre le témoin « dose réduite » et les modalités associant maïs et lablab ont pu indiquer un problème de semis, possiblement dû à une saturation du semoir (doses dépassant 150 000 graines/ha pour les associations) en cas de vitesse d'avancement trop élevée.

Tableau 2 : Modalités testées dans les dispositifs d'essais en microparcelles

Table 2: Treatments tested in micro-plot experimental designs

Facteurs Testés	Modalité	Densité maïs	Densité lablab (gr./m²)	Variété lablab	Inoc.	Nb. Essais	Nb. Essais x Nb. Trait. ¹
Témoin	Témoin maïs pur	Pleine dose	-	-	-	5	5
	Maïs seul réduit	Dose réduite (-15%)	-	-	-	5	5
Inoculation	M + SUSTAIN 70 non Inoc.	Dose réduite (-15%)	70 000	SUSTAIN	NON	5	5
	M + SUSTAIN 70 Inoc.	Dose réduite (-15%)	70 000	SUSTAIN	OUI	5	12
Densité de semis du lablab	M + SUSTAIN 50 Inoc.	Dose réduite (-15%)	50 000	SUSTAIN	OUI	5	5
	M + SUSTAIN 30 Inoc.	Dose réduite (-15%)	30 000	SUSTAIN	OUI	1	1
Variétés de lablab	M + OPALE 70 Inoc.	Dose réduite (-15%)	70 000	OPALE	OUI	4	4
	M + RONGAI 70 Inoc.	Dose réduite (-15%)	70 000	RONGAI	OUI	2	2

¹la modalité « M + SUSTAIN 70 inoc. » était présente entre 1 et 3 fois par essai via différents inocula tous regroupés sous ce nom de modalité.

Ainsi, 5 essais sont retenus dans l'analyse qui suit : La Roche-sur-Yon 2022, la Roche-sur-Yon 2023, Loireauxence 2023, Lusignan 2024, Laval 2024.

2.1.5 Analyses statistiques

Les données ont été analysées à l'aide d'un modèle linéaire mixte pour évaluer l'effet des modalités expérimentales sur les rendements et les teneurs en MAT. Le modèle statistique utilisé était de la forme :

Données à expliquer ~ Modalité + (1 | Année/Site)

où Modalité était considéré comme un effet fixe, et Année et Site comme effets aléatoires imbriqués (Site étant niché dans Année). Cette approche permettait de tenir compte de la structure hiérarchique du jeu de données et de la variabilité inter-site et inter-annuelle.

Les résidus du modèle ont été extraits afin de vérifier les conditions de normalité et d'homogénéité de variance.

Les comparaisons multiples entre modalités ont été réalisées à l'aide d'un test de Tukey avec un seuil de significativité de 5 % (p < 0,05) appliqué aux moyennes marginales ajustées issues du modèle mixte.

2.2 Co-ensilage et mesures de dégradabilité in sacco

2.2.1 Modalités testées

L'essai de dégradabilité ruminale visait à explorer plusieurs facteurs susceptibles d'influencer la qualité de l'association maïs-lablab, notamment l'effet de :

- l'inoculation du lablab,
- la souche d'inoculum,
- la variété de lablab,
- la fermentation (comparaison avant et après ensilage),
- Et la proportion maïs-lablab dans le mélange avec des gammes de co-ensilage allant de 100% de lablab à 0% en passant par 50, 30 et 15% (Proportion massique de la matière sèche).

Au total, 15 modalités ont été mises en œuvre, telles que présentées dans le Tableau 3. Les modalités A et B sont des témoins constants entre essais in sacco permettant de confirmer le bon déroulement de l'essai.

2.2.2 Dispositif expérimental et conduite de l'essai

Chaque modalité a été soumise à plusieurs temps d'incubation in sacco, répartis en deux phases :

- Phase à court terme : 0, 2, 4 et 8 heures,
- Phase à long terme : 24, 48 et 72 heures.

Chaque modalité a été répétée six fois, correspondant à trois vaches fistulées, avec chaque aliment incubé dans deux séries distinctes. Chaque série comprenait l'ensemble des 15 modalités, notées de A à P.

Les échantillons utilisés provenaient :

- pour les aliments A et B : de l'échantillonthèque ARVALIS,
- pour les aliments C à P : de l'essai agronomique TROPICOW (2023) conduit par Arvalis sur la station expérimentale de La Jaillière (Loireauxence 2023), avec :

Tableau 3 : Modalités testées dans le dispositif d'essai in sacco

Table 3: Treatments tested in the in sacco experimental design

N° modalité	Dénomination	Variété lablab	Part lablab (en % de la MS)	Part de maïs	État	Innoculum lablab
				(en % de la MS)		
A	Témoin maïs ensilage				fermenté	
B	Témoin luzerne déshy				déshydraté	
C	Maïs ensilage	-	0	100	fermenté	-
D	SUSTAIN_100%_vert_INRA 2	Sustain	100	0	vert	INRA 2
E	SUSTAIN_100%_vert_non_Inoc.	Sustain	100	0	vert	non_Inoc.
F	SUSTAIN_100%_fermenté_non_Inoc.	Sustain	100	0	fermenté	non_Inoc.
G	OPALE_100%_fermenté_INRA 2	Opale	100	0	fermenté	INRA 2
H	SUSTAIN_100%_fermenté_INRA 2	Sustain	100	0	fermenté	INRA 2
I	SUSTAIN_50%_fermenté_INRA 2	Sustain	50	50	fermenté	INRA 2
J	SUSTAIN_33%_fermenté_INRA 2	Sustain	33	67	fermenté	INRA 2
K	SUSTAIN_15%_fermenté_INRA 2	Sustain	15	85	fermenté	INRA 2
L	SUSTAIN_100%_fermenté_CB1024	Sustain	100	0	fermenté	CB1024
M	SUSTAIN_50%_fermenté_CB1024	Sustain	50	50	fermenté	CB1024
N	SUSTAIN_33%_fermenté_CB1024	Sustain	33	67	fermenté	CB1024
P	SUSTAIN_15%_fermenté_CB1024	Sustain	15	85	fermenté	CB1024

- o les lablabs récoltés directement sur l'essai microparcelle,
- o un maïs fourrage prélevé le même jour sur un chantier de récolte classique.

Les échantillons ont été conservés soit en vert, soit fermentés 60 jours en bocaux, puis séchés à 60 °C pendant 72 h. Ils ont ensuite été broyés (grille 4 mm) pour être ensachés dans des sachets Ankom standard (50 µm de porosité, 5 × 10 cm). Chaque sachet contenait 3 g de matière sèche (environ 3,25 g brut ± 0,05 g) et portait un code d'identification : essai, aliment, vache, série, durée d'incubation.

La teneur en eau résiduelle des matières premières a été mesurée sur deux échantillons : en début et en fin de préparation des 42 sachets (7 temps × 6 répétitions) d'une même matière.

Les sachets ont été regroupés par série et date d'incubation, puis incubés dans le rumen de vaches fistulées, nourries avec la ration standard d'entretien de la station expérimentale de la Jaillière (foin, ensilage de maïs, concentré), en deux repas journaliers à 8h et 16h, synchronisés avec les manipulations.

Après incubation, les sachets ont été :

- rincés à l'eau claire immédiatement,
- stockés au congélateur jusqu'à la fin de l'essai,

- lavés en machine (Calor, 3 cycles de 5 min à l'eau froide),
- séchés à 60 °C pendant 72 h,
- puis stabilisés en dessiccateur à température ambiante avant d'être pesés un par un.

Les résidus ont ensuite été regroupés par matière première et par temps d'incubation (6 répétitions par combinaison). Enfin, la teneur en cendres, en amidon et en azote des 15 aliments initiaux ainsi que celle des résidus d'incubation (0 à 72 h) a été analysée par méthode chimique par le laboratoire de Boigneville.

2.2.3 Analyse statistique

À chaque temps d'incubation, après exclusion des données issues de sachets endommagés, les mesures de dégradabilité ont été analysées à l'aide du logiciel R, en distinguant deux phases :

- court terme : 0, 2, 4 et 8 heures,
- long terme : 24, 48 et 72 heures.

Un modèle linéaire a été appliqué pour chacune de ces phases selon la structure suivante :

$Y = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \delta_l + A_{ij} + B_{kl} + \epsilon_{ijkl}$

avec :

- μ : moyenne générale,
- α_i : effet de l'aliment ($i = 1 \text{ à } 15$),
- β_j : effet du temps d'incubation ($j = 4 \text{ ou } 3 \text{ selon la phase}$),
- γ_k : effet de la vache ($k = 1 \text{ à } 3$),
- δ_l : effet de la série ($l = 1 \text{ ou } 2$),
- A_{ij} : interaction aliment $\times$ temps d'incubation,
- B_{kl} : interaction vache $\times$ série,
- ϵ_{ijkl} : résidu.

Un test de détection des valeurs aberrantes (test d'Anscombe et Tukey) a été appliqué aux résidus. Les valeurs jugées suspectes ont été examinées visuellement (observation des sachets concernés) et écartées si des anomalies étaient confirmées. Le modèle statistique était alors réajusté, le cas échéant.

L'ensemble de cette procédure permet d'estimer, pour chaque aliment et chaque temps d'incubation, une moyenne ajustée de dégradation de la matière sèche de la forme :

$\mu + \alpha_i + \beta_j + A_{ij}$.

Le calcul de la dégradabilité théorique (DT) de l'amidon et de l'azote a été réalisé par la méthode pas à pas, en intégrant un taux de transit de 6 % par heure. Les effets des modalités (vert/fermenté) seront analysés par comparaison de moyennes.

3. Résultats et discussion

3.1 Résultats des essais au champ

3.1.1 Rendement

La réduction de la densité de semis du maïs a entraîné une baisse de rendement de 0,81 t MS/ha par rapport au témoin à pleine densité (figure 1). Cette baisse est accentuée par l'introduction du lablab à une densité de 70 000 grains/ha, avec une perte additionnelle de 2,29 t MS/ha, soit une diminution significative de 3,10 t MS/ha de la part du maïs par rapport au témoin maïs seul. Le rendement du lablab inoculé, mesuré à 1,58 t MS/ha, ne suffit pas à compenser cette perte : le rendement total de l'association est donc inférieur de 1,52 t MS/ha (différence non significative).

L'inoculation du lablab n'a pas d'effet significatif sur le rendement total, bien qu'un gain moyen de 0,4 t MS/ha soit observé avec les modalités inoculées. La densité de semis du lablab influence sa production : la densité la plus élevée permet d'obtenir les meilleurs rendements, tandis que la densité réduite conduit à une baisse significative du rendement du lablab. Les trois variétés de lablab testées présentent des performances similaires.

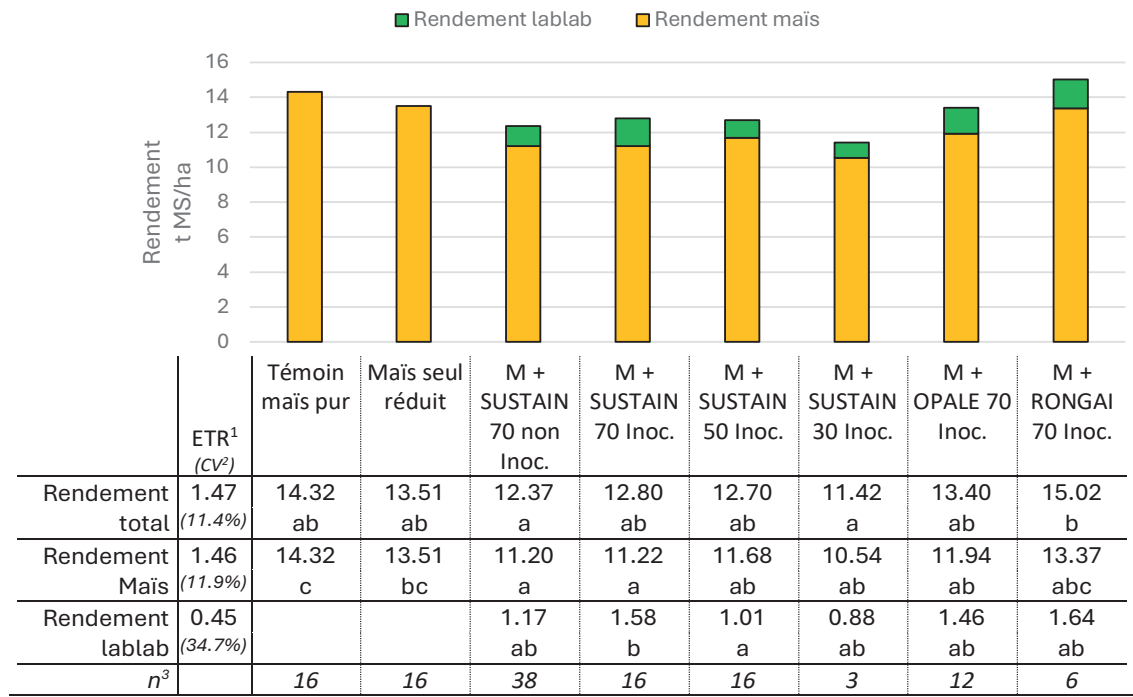


Figure 1 : Rendement du maïs fourrage et du lablab dans le réseau d'essais microparcelles. Lettre = test de Tukey au seuil de significativité $\alpha=5\%$ (¹ETR = Ecart-type résiduel, ²Coefficient de variation, ³n = Nombre de données)

Figure 1: Forage maize and lablab yield in the micro-plot trial network. Letters = tukey test at a significance level of $\alpha = 5\%$ (1res = residual standard deviation, 2cv = coefficient of variation, 3n = number of data points)

3.1.2 Production de MAT

La teneur en MAT du lablab, bien que supérieure à celle du maïs, reste inférieure aux attentes pour une légumineuse, avec des valeurs comprises entre 10,6 % et 12,7 % de MAT. L'inoculation semble avoir un effet positif (+1,11 point de MAT), mais cette différence n'est pas significative (figure 2). La densité de semis n'a pas eu d'effet significatif sur la teneur en MAT du lablab. Les écarts observés entre variétés semblent davantage liés à des effets de site et d'année qu'à de réelles différences génétiques.

L'impact de l'association sur la teneur en MAT du fourrage final (maïs + lablab) reste modeste et non significatif : un gain de 0,69 point de MAT est observé avec l'association inoculée, par rapport à un maïs seul conduit à pleine dose.

3.2 Résultat de l'essai de co-ensilage

3.2.1 Valeur alimentaire du lablab vert et fermenté

Les données de composition chimique et de valeur alimentaire du lablab vert et ensilé présentées dans le Tableau 4 correspondent à ceux de la variété Sustain inoculée INRA 2 et non inoculée. Dans cet essai, le lablab ensilé a dosé 22,4 % MS, 9,2 % de cendres, 13,0 % MAT. Le fourrage vert correspondant a dosé 23,2 % MS, 8,1 % de cendres et 12,4 % MAT. Cette valeur est cohérente avec celle mesurée dans le réseau d'essais agronomiques entre 2022 et 2024. La teneur en MAT est en revanche inférieure à la référence INRAE en vert (15,7 % MAT).

La digestibilité de la matière organique (dMO) des aliments a été estimée à partir de la quantité de matière sèche non dégradée à 48h (MSnd48h) selon l'équation proposée par Peyrat *et al.*, (2014).

Le calcul des valeurs alimentaires (UFL, UEL, PDI) a été réalisé à partir des paramètres de dégradabilité mesurés in sacco (MSnd48h, DT6Amidon, DT6N) et des équations de calcul du référentiel INRA 2018.

La valeur énergétique du lablab pur a respectivement été mesurée à 0,90 et 0,93 UFL/kg en MS en vert et en fermenté (n=2 comparaisons, variété Sustain inoculée INRA 2 et non inoculée), soit une valeur assez proche avant et après conservation. A titre de comparaison, cette teneur en UFL correspond à celle d'un trèfle à fin de bourgeonnement. Bien que la digestibilité de la matière organique du lablab soit légèrement inférieure à celle du maïs (-1,5 point), l'écart de valeur énergétique s'explique aussi par la teneur en matières minérales supérieure de la légumineuse (+6,3 points). La dMO mesurée sur le lablab vert est légèrement supérieure à la référence INRAE (dMO_INRAE = 68 %).

La dégradabilité de l'azote (DT,N) du lablab pur a respectivement été mesurée à 76,2 et 78,1 % en vert et en fermenté. Ces valeurs sont globalement cohérentes avec celles des légumineuses fourragères à teneur en MS et valeur nutritive équivalente, mais inférieure à la référence INRAE de lablab en vert (DT6N = 61 %). La DT6N du lablab ensilé a logiquement été supérieure à celle du vert à cause de la protéolyse durant la fermentation. Néanmoins l'écart de DT6N n'est que de 1,9 points, suggérant une protéolyse limitée au cours du processus de conservation par ensilage, possiblement dû à différents composés (tannins condensés, saponines, composés phénoliques) présents dans cette légumineuse (Washaya *et al.*, 2018), pouvant avoir un effet sur la dégradabilité des protéines.

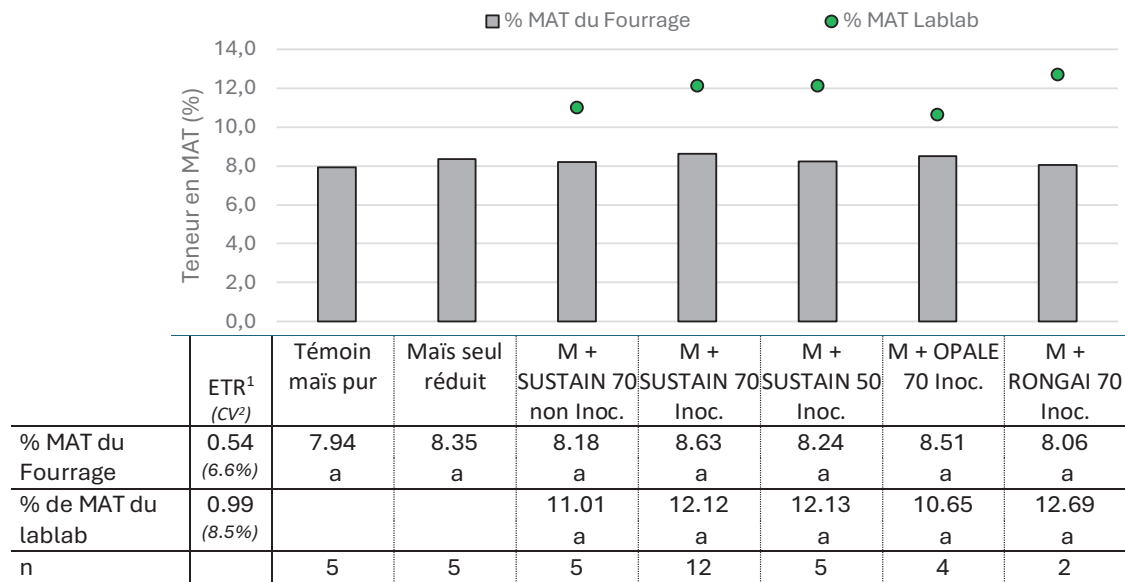


Figure 2 : Teneur en matières azotées totales (MAT) du lablab et du fourrage finale produit. Lettre = test de Tukey au seuil de significativité α=5% (¹ETR = Ecart-type résiduel, ²Coefficient de variation, ³n = Nombre de données)

Figure 2: Crude protein content (cp) of lablab and final forage produced. Letters = tukey test at a significance level of α = 5% (1res = residual standard deviation, 2cv = coefficient of variation, 3n = number of data points)

Tableau 4 : Composition chimique et valeur alimentaire du lablab Sustain vert et ensilé

Table 4: Chemical composition and nutritional value of fresh and ensiled Sustain lablab

	Fermenté (n=2)	Vert (n=2)
Teneur en MS (%)	23,9	23,9
Cendres (%)	9,3	8,1
MAT (%)	12,6	13,3
MSnd48h (%)	18,8	19,5
dMO_VF (%)	70	69,6
UFL_INRA18 via dMO_VF (/kg MS)	0,93	0,9
UEL_INRA18 via dMO_VF (/kg MS)	1,18	0,99
Densité énergétique (UFL/UEL)	0,79	0,9
DT6_N (%)	78,1	76,2
PDI (g/kg MS)	64	78
BPR (g/kg MS)	6	2

En comparaison à la prévision calculée à partir de l'équation légumineuses du référentiel INRAE, le modèle « vert » sous-estime la DT6N de 2,7 points alors que le modèle « ensilage » la surestime de 4.1 points (cf. Figure 3). Ces écarts restent néanmoins acceptables au vu de la précision des équations « vert » (ETR = 3.5) et « fermenté » (ETR = 4.2) ainsi que de l'impact sur les valeurs protéiques PDI et BPR. La teneur en PDI est logiquement inférieure à la référence INRAE en vert (PDI = 92 g/kg MS) en raison de la moindre teneur en MAT et d'une dégradabilité ruminale de l'azote supérieure des lablab récoltés dans les conditions de cet essai. La BPR est en revanche équivalente à la référence INRAE en vert (BPR = +2 g/kg MS), la plus faible teneur en MAT étant compensée par une dégradabilité supérieure de l'azote.

3.2.2 Co-ensilage du maïs fourrage et du lablab

3.2.2.1 Composition chimique du mélange

La teneur en MS et la composition chimique (cendres, amidon, MAT) mesurées en méthode de référence sont présentées dans le Tableau 5. La teneur en MS et la composition chimique du maïs ensilage sont représentatives d'un maïs classique : 34,4 % MS, 2,9 % de cendres, 6,7 % MAT et 35,6 % d'amidon.

Le contrôle de cohérence de la composition chimique des mélanges, par différence entre la valeur mesurée et la valeur calculée au prorata des 2 espèces, est conforme au vu des teneurs en cendres et en MAT. En revanche, pour l'amidon, bien que la teneur théorique respecte la proportion attendue entre les deux espèces, il est totalement improbable d'obtenir 14.1 % d'amidon dans le Lablab fermenté pur (100 %). Celui-ci était au stade végétatif lors de la récolte et ne présentait aucune graine. L'hypothèse la plus probable est un surdosage de l'amidon, lié aux teneurs élevées en pectines et en hémicelluloses solubles chez les dicotylédones, comme le Lablab, contrairement au maïs qui contient beaucoup moins de pectines et des fibres plus lignifiées (Cosgrove *et al.*, 1997). Ces composés, solubilisés lors de l'analyse en laboratoire,

auraient alors pu libérer des sucres quantifiés à tort comme de l'amidon par l'activité enzymatique.

3.2.2.2 Dégradabilité de l'amidon du maïs et impact du co-ensilage avec le lablab

La dégradabilité de l'amidon (DT6Amidon) du maïs ensilage pur a été mesurée à 84,9 %, soit une valeur assez élevée après 60 jours de conservation, possiblement en lien avec la variété ou les conditions de culture.

L'une des hypothèses testées était que le co-ensilage pourrait permettre d'améliorer la DT6Amidon du maïs ensilage, grâce à une conservation en milieu plus humide que celui du maïs seul permise par la plus faible teneur en MS du lablab. Cette hypothèse n'a pas été vérifiée dans l'essai. À l'inverse, la DT6Amidon a été négativement impacté de -4.3 pts (14% lablab dans le mélange) à -10 pts (31 et 47% de lablab dans le mélange). Cette observation reste sans explication documentée (cf. Tableau 6). Cependant, le surdosage d'amidon lié à la présence de Lablab n'invalide pas l'effet mesuré sur la dégradabilité de l'amidon. Bien qu'existant, ce surdosage reste constant et strictement proportionnel à la proportion de Lablab dans le mélange. Or, la DT6Amidon ne suit pas cette relation linéaire : elle diminue selon une courbe en cloche inversée et atteint un plateau autour de 30 % de Lablab, ce qui suggère un phénomène indépendant du biais analytique et susceptible d'atteindre un point de saturation. Une hypothèse serait que les tannins condensés, les saponines et/ou les composés phénoliques présents dans le lablab aient limité la protéolyse au cours des 60 jours de fermentation, rendant ainsi les granules d'amidon du maïs moins accessibles par les microbes du rumen (Mc Alister *et al.* 1993).

3.2.2.3 Valeur énergétique du mélange maïs/lablab

La valeur énergétique du maïs fourrage ensilé en pur (utilisé pour la réalisation des bocalux d'ensilage) a été de 0,96 UFL/kg MS (dMO=71,6%). L'encombrement est de 0.96 UEL/kg MS, soit une densité énergétique de 1.00 UFL/UEL, ce qui correspond à un maïs « classique ».

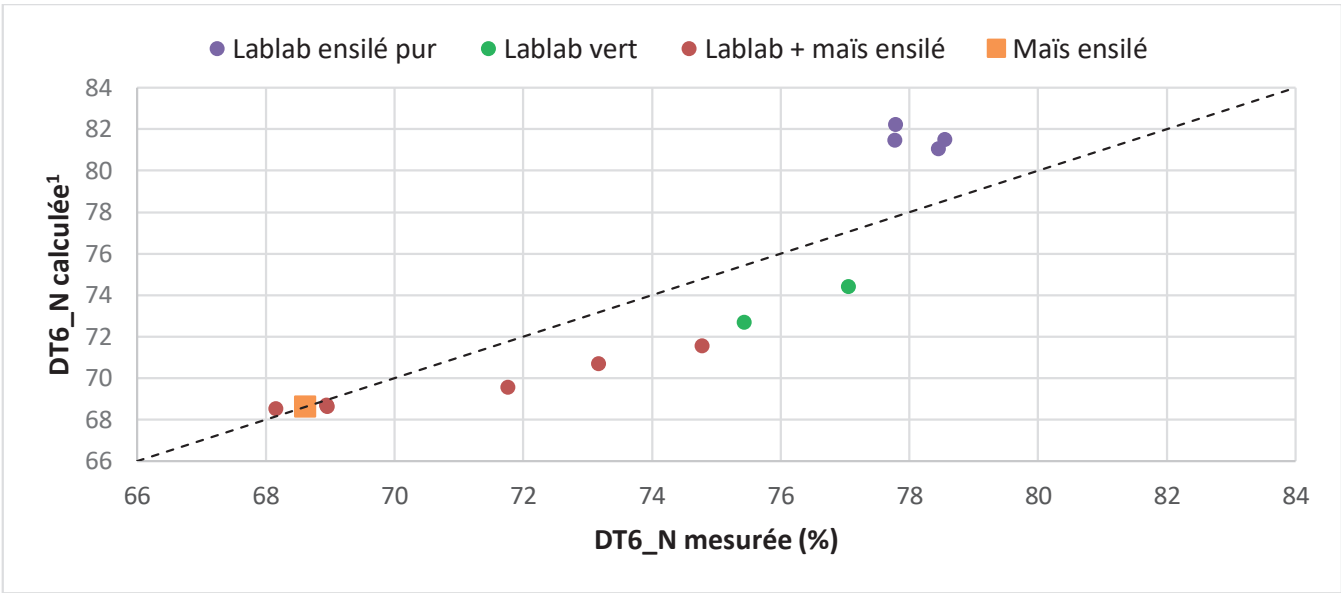


Figure 3 : DT6N calculée à partir du modèle INRAE en fonction de la DT6N mesurée in sacco

Figure 3: DT6N predicted by the INRAE model versus DT6N measured in sacco

¹La DT6N_calculée correspond à la DT6N calculée pour le lablab à partir de l'équation légumineuses du référentiel INRAE (vert ou fermenté). La valeur de DT6N mesurée du maïs a été utilisée pour le calcul des mélanges ensilés au prorata de son taux d'incorporation.

Tableau 5 : Teneur en MS et composition chimique des aliments

Table 5: Dry matter content and chemical composition of the feeds

État	Fermenté				
Part de lablab (%)	0	14	31	47	100
	(n=1)	(n=2)	(n=2)	(n=2)	(n=2)
Teneur en MS (%) mesuré	34,4				22,4
Teneur en MS (%) théorique ¹		32,7	30,7	28,8	
Cendres (%) mesuré	2,9	3,7	4,7	5,9	9,2
Cendres (%) théorique ¹		3,8	4,8	5,8	
MAT (%) mesuré	6,7	7,7	8,6	10	13
MAT (%) théorique ¹		7,6	8,7	9,7	
Amidon (%) mesuré	35,6	32,5	27,9	24,6	14.1
Amidon (%) théorique ¹		32.6	28.9	25.5	

¹Les valeurs théoriques correspondent à la valeur attendue pour les mélanges à partir du prorata de chacune des espèces pures.

Tableau 6 : Dégradabilité de l'amidon des aliments mesurée in sacco

Table 6: Starch degradability of feeds measured in sacco

État	Fermenté				
Part de lablab (%)	0	14	31	47	100
	(n=1)	(n=2)	(n=2)	(n=2)	(n=2)
Teneur en MS (%) mesuré	34,4	0	0	0	22,4
Amidon (%) mesuré	35,6	32,5	27,9	24,6	0
DT6_Amidon (%) mesuré	84,9	80,6	74	74	
DT6_Amidon (%) théorique ¹		84,9	84,9	84,9	

¹Les valeurs théoriques correspondent à la valeur attendue pour les mélanges à partir du prorata de chacune des espèces pures.

La valeur énergétique mesurée sur les mélanges de maïs et de lablab ensilés à différentes proportions a été cohérente par rapport à la valeur et au prorata des 2 espèces dans le mélange (cf. Tableau 7). Ces résultats suggèrent une absence d'effet du co-ensilage sur la digestibilité de la matière organique.

3.2.2.4 Dégradabilité de l'azote du mélange maïs/lablab

La dégradabilité de l'azote (DT6N) du maïs fourrage ensilé en pur a été de 68.6 %, inférieure de 3.4 points à la valeur « Tables INRA » de référence (il n'existe pas d'équation disponible pour calculer la DT6N du maïs ensilage, elle est donc considérée fixe à 72 % dans le référentiel INRAE).

La valeur de DT6N mesurée sur les mélanges de maïs et de lablab ensilés à différentes proportions a été cohérente par rapport à la valeur et au prorata des 2 espèces dans le mélange (cf. Tableau 8). Ces résultats suggèrent une absence ou un effet très limité du co-ensilage sur la dégradation de l'azote dans le rumen (-1.3 à +1.1 point de DT₆N, soit un impact négligeable sur la valeur protéique).

3.2.3 Effet de l'inoculation du lablab

L'effet de l'inoculation sur la teneur en azote et sa dégradabilité a été mesuré sur la variété Sustain en vert et en fermenté (pas de

répétition). Les valeurs mesurées ne suggèrent pas d'effet majeur de l'inoculum sur ces paramètres (cf. Tableau 9).

3.2.4 Effet de la variété de lablab

La variété (Sustain vs Opal) n'a eu à priori aucun effet sur les paramètres de composition chimique et de valeur nutritive (cf. Tableau 10).

4. Conclusion

En conclusion, l'association maïs-lablab ne permet pas, dans les conditions des essais en microparcelles de maintenir le rendement total au niveau du maïs seul à pleine densité. Bien que le lablab contribue en moyenne à 12,3 % du rendement total, la production fourragère reste globalement diminuée. L'inoculation semble avoir un effet positif sur la biomasse produite par le lablab (NS), contrairement à la réduction de sa densité de semis.

Sur le plan qualitatif, l'inoculation n'a pas permis d'augmenter significativement la teneur en MAT du lablab, bien qu'une hausse moyenne de +1,1 point ait été observée, sans atteindre le seuil de significativité. L'amélioration de la teneur en MAT du fourrage

Tableau 7 : Valeur énergétique du maïs, du lablab et des mélanges mesurés in sacco

Table 7: Energy value of maize, lablab, and mixtures measured in sacco

État	Fermenté				
Part de lablab (%)	0	14	31	47	100
	(n=1)	(n=2)	(n=2)	(n=2)	(n=2)
dMO_VF (%) mesuré	71,6%	71,1%	70,0%	70,5%	70,1%
dMO_VF (%) théorique*		71,40%	71,10%	70,90%	
UFL_INRA18 via dMO_VF (/kg MS) mesuré	0,96	0,95	0,93	0,94	0,93
UFL_INRA18 via dMO_VF (/kg MS) théorique*		0,96	0,95	0,94	
UEL_INRA18 via dMO_VF (/kg MS) mesuré	0,96	1,02	1,09	1,12	1,17
Densité énergétique (UFL/UEL) mesuré	1	0,93	0,85	0,84	0,79

*Les valeurs théoriques correspondent à la valeur attendue pour les mélanges à partir du prorata de chacune des espèces pures.

Tableau 8 : Dégradabilité de l'azote des aliments mesurée in sacco

Table 8: Nitrogen degradability of feeds measured in sacco

État	Fermenté				
Part de lablab (%)	0	14	31	47	100
	(n=1)	(n=2)	(n=2)	(n=2)	(n=2)
Teneur en MS (%) mesuré	34,4	0	0	0	22,4
MAT (%) mesuré	6,7	7,7	8,6	10	13,0
DT6_N (%) mesuré	68,6	68,6	70,3	74	77,8
DT6_N (%) théorique ¹		69,9	71,5	72,9	
PDI (g/kg MS) mesuré	61	62	62	63	65
PDI (g/kg MS) théorique ¹		62	62	63	
BPR (g/kg MS) mesuré	-45	-37	-29	-17	8
BPR (g/kg MS) théorique ¹		-37	-28	-20	

¹Les valeurs théoriques correspondent à la valeur attendue pour les mélanges à partir du prorata de chacune des espèces pures.

Tableau 9 : Effet de l'inoculation du lablab sur sa teneur en MAT et la dégradabilité de l'azote (variété Sustain)

Table 9: Effect of lablab inoculation on crude protein content and nitrogen degradability (Sustain variety)

État	Fermenté			Vert	
Inoculum	CB1024	INRA 2	Non inoculé	INRA 2	Non inoculé
	(n=1)	(n=1)	(n=1)	(n=1)	(n=1)
Teneur en MS (%)	21,7	23,2	24,7	23,2	24,7
MAT (%)	13,3	12,7	12,6	12,4	14,2
DT ₆ _N (%)	77,8	77,8	78,4	75,4	77
PDI (g/kg MS)	65	64	63	76	80
BPR (g/kg MS)	11	5	6	-5	9

Tableau 10 : Composition chimique et valeur nutritive des ensilages de lablab issus des variétés Opal et Sustain inoculées INRA 2

Table 10: Chemical composition and nutritional value of lablab silages from Opal and Sustain varieties inoculated with INRA 2

	Lablab fermenté inoculé INRA 2	
	Sustain (n=1)	Opal (n=1)
Teneur en MS (%)	23.2	23.2
Cendres (%)	9.3	9.2
MAT (%)	12.8	12.7
DT ₆ N (%)	78.5	77.8
dMO_VF (%)	70.7	70.8
UFL_INRA18 via dMO_VF (/kg MS)	0.94	0.94
DT ₆ N (%)	78.5	77.8
PDI (g/kg MS)	64	64
BPR (g/kg MS)	6	5

récolté dans son ensemble reste donc très modeste, de l'ordre de +0,69 point. Il convient toutefois de noter que des nodosités fonctionnelles ont été observées dans la majorité des cas, avec une coloration interne rosée à brun-rouge, indiquant une activité symbiotique effective.

Le co-ensilage du maïs et du lablab n'a pas permis d'améliorer la qualité du fourrage fermenté comparé aux fourrages seuls. Aucune amélioration de la préservation de la matière azotée n'a été constatée. En revanche, la dégradabilité ruminale de l'amidon (DT₆Amidon) a été réduite de 4 à 11 points, dès que la proportion de lablab atteignait 15 %, ce qui constitue une dégradation notable de la valeur énergétique.

Enfin, une analyse économique par budget partiel simplifié, comparant la modalité Témoin maïs pur au couple M + SUSTAIN 70 Inoc., a été conduite (Tableau 11). Cette analyse repose sur les hypothèses suivantes :

- 1 g de MAT supplémentaire apporté par le fourrage associé est considéré comme substituable à 1 g de MAT de soja,
- La perte énergétique liée au retrait de soja est compensée par un apport équivalent de blé,
- Un ajout de 20 kg de blé par tonne de fourrage est effectué pour compenser la baisse de la valeur énergétique du mélange,

- Le déficit fourrager induit par la baisse de rendement est comblé par un achat de fourrage au prix de 135 €/t MS.

Selon ces hypothèses et dans le contexte dans lequel a été étudié le lablab, le bilan économique ressort négatif, à hauteur de 264 €/ha, traduisant des gains agronomiques et nutritionnels insuffisants pour compenser les pertes économiques liées à l'introduction du lablab.

5. Perspectives

Les essais menés ont mis en évidence plusieurs enseignements : l'introduction du lablab inoculé dans une culture de maïs fourrage n'a pas permis de maintenir les rendements ni la valeur énergétique du fourrage, tout en n'apportant qu'un gain modeste en teneur en MAT.

Malgré une inoculation au champ réussie, confirmée par la présence de nodosités fonctionnelles sur les racines du lablab, aucun effet significatif de l'inoculation n'a été observé sur la qualité ou la quantité de biomasse produite. Cela suggère un besoin d'approfondissement quant à la compréhension des conditions nécessaires pour optimiser l'expression et l'efficacité de la symbiose au champ.

Tableau 11 : Budget partiel du passage d'un maïs en culture pure vers une association maïs-lablab inoculé.

Table 11: Partial budget for shifting from sole maize cultivation to a maize-inoculated lablab mixture.

Charge en plus		Charges en moins	
Semences de Lablab + inoculum	100 €/ha	Semences de Maïs (-15%)	40 €/ha
Complément énergétique retrait du soja 1kg tourteaux soja pour 1.06kg de blé Soit 208 kg blé x 215 €/t	45 €/ha	Complément azoté +0.7pt MAT x 12.8 t MS/ha = +90kg MAT/ha Soit 196 kg de tourteaux de soja 46% à 500 €/t	98 €/ha
Complément énergétique valeur du fourrage 20 kg blé x 12.8 t MS x 215 €/t blé	55 €/ha		
Complément de fourrage (pertes rendement) -1.5 t MS/ha x 135€/t MS 1	202 €/ha		
	+ 402 €/ha		-138 €/ha
+ 264 €/ha			

Par ailleurs, cette étude s'est concentrée sur une modalité spécifique d'introduction du lablab dans le système de culture, à savoir une association en semis simultané avec le maïs fourrage sur un cycle unique. D'autres modalités d'association, différenciées par la date de semis, la durée de culture, et/ou le rythme d'exploitation, pourraient peut-être mieux valoriser le potentiel agronomique du lablab, ainsi que l'expression de sa fixation symbiotique.

Remerciements

Ce travail a été réalisé dans le cadre d'un projet financé par le CASDAR, Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire, que nous remercions pour son soutien.

Nous adressons également nos remerciements à l'ensemble des partenaires du projet mobilisés pour les essais microparcelles et in sacco pour leur engagement et leur contribution :

Chambre régionale d'agriculture de Nouvelle-Aquitaine (Pilote du projet), et des Pays de la Loire, Chambres départementales d'agriculture de la Dordogne, des Pyrénées-Atlantiques, ARVALIS, IDELE, UMR 1347 Agroécologie (Dijon), Unité Expérimentale FERLUS (Lusignan), le laboratoire GERM-SERVICES, la coopératives Océalia et le semencier SEMENTAL.

Références Bibliographiques

Armstrong, K.L., Albrecht, K.A. (2008). Effect of plant density on forage yield and quality of intercropped corn and lablab bean. *Crop Science*, 48, p 814-822.

Armstrong, K.L., Albrecht, K.A., Lauer, J.G., Riday, H. (2008). Intercropping Corn with Lablab Bean, Velvet Bean, and Scarlet Runner Bean for Forage. *Crop Science*, 48, p 371-377.

Coulibaly, K., Vall, E., Autfray, P. Et Sedogo, P. M. (2012). Performance technico-économique des associations Maïs/niébé et maïs/mucuna en situation réelle de culture au Burkina Faso : potentiels et contraintes. *Tropicultura*,

30, 3, p 147-154.

Cosgrove D.J. (1997). Assembly and enlargement of the primary cell wall in plants. *Annu. Rev. Cell Dev. Biol*, 13, p 171-201.

Coulibaly, D, Dembele, B Et Sissoko, F. (2017). Développement des systèmes de production innovants d'association maïs/légumineuses dans la zone subhumide du Mali. *Agronomie Africaine*, 29, p 1-10.

Emile J.-C., Coutard J.-P., Forel E., Stephany D. (2016). Développer les associations annuelles céréales -protéagineux dans les systèmes fourragers. *Fourrages*, 226, p 143-151.

Inra, (2018). Alimentation des ruminants, Éditions Quæ, Versailles, France, 728 p

Peyrat J., Nozière P., Féraud A., Le Morvan A., Protin P.V., Baumont R. (2014). Digestibilité de l'amidon et des parois végétales du maïs fourrage : conséquences sur la prévision de sa valeur nutritive. *Rencontre Recherche Ruminants*, 21, P 135-138.

Kermah, M., Franke, A.C., Adjei-Nsiah, S., Ahiabor, B.D.K., Abaidoo, R.C., Giller, K.E. (2017). Maize-grain legume intercropping for enhanced resource use efficiency and crop productivity in the Guinea savanna of northern Ghana. *Field Crops Research*, 213, p 38-50.

Latati M, Blavet D, Alkama N, Laoufi H., Drevon J. J., Gérard F., Pansu M, Ounane S. M. (2014). The intercropping cowpea-maize improves soil phosphorus availability and maize yields in an alkaline soil. *Plant Soil*, 385, p 181–191.

McAllister T.A., Phillippe R.C., Rode L.M, Cheng K.J. (1993). Effect of the protein matrix on the digestion of cereal grains by ruminal microorganisms. *Journal of animal science*, 71, p.205-2012

Rault A. (2019). Opportunités et intérêts de cultiver du maïs ou sorgho fourrage en association avec des légumineuses tropicales dans le Sud-Ouest de la France. Rapport de stage ingénieur. Chambre Régionale d'Agriculture Nouvelle Aquitaine, 74p.

Washaya S., Mupangwa J., Muchenje V. (2018). Chemical composition of Lablab purpureus and Vigna unguiculata and their subsequent effects on methane production in Xhosa lop-eared goats. *South African Journal of Animal Science*, 48, P 445-458.

Zhang H., Shi W/, Ali S., Chang S., Jia Q., Hou F. (2022). Legume/Maize Intercropping and N Application for Improved Yield, Quality, Water and N Utilization for Forage Production. *Agronomy*, 12, 1777.