

Nom de l'auteur en charge du dépôt	Silvère GELINEAU		Date du dépôt		
			Date de clôture (réservé à la revue)	☐ Accepté ☐ Refusé	Le
Type d'article	☒ Scientifique ☐ Synthèse ☐ Technique ☐ Opinion ☐ Témoignage				
Titre de l'article 18 mots max	Association maïs fourrage – lablab : intérêt agronomique et valeurs nutritives en conditions françaises				
Traduction du titre en anglais	Maize forage–Lablab association: agronomic interest and nutritive values under French conditions				
Titre courant 75 car max	Intérêts d'associer une légumineuse tropicale au maïs fourrage				
Mots clés 5 max	Maïs Fourrage, Autonomie protéique, légumineuse tropicale				
Mots clés traduits (anglais)	Silage Maize, tropical legume, Protein autonomy				
Auteurs	Silvère GELINEAU ¹ , Hugues CHAUVEAU ¹ , Céline BOURLET ² , Olivier GUERIN ³				
Organismes de rattachement des auteurs et adresse postale	1. Arvalis, Station expérimentale de La Jaillière - LA CHAPELLE SAINT SAUVEUR 44370 – LOIREAUXENCE 2. Chambre d'agriculture de région des Pays-de-la-Loire – 9 rue André-Brouard – 49105 ANGERS 3. Chambre régionale d'agriculture Nouvelle- Aquitaine – Boulevard des Arcades – 87060 LIMOGES cedex 2				
Adresse mail pour la correspondance	s.gelineau@arvalis.fr				

Résumé de l'article :

1500 car max

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.

Résumé de l'article (version anglaise) :

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.

Illustration de l'article :



1 Introduction

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

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

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

21 Malgré ces résultats prometteurs à l'international, les tentatives d'introduction de légumineuses
22 tropicales en association avec le maïs fourrage en France métropolitaine ont, jusqu'ici, rencontré des
23 succès limités. Historiquement, des essais ont été menés dans les années 1980, puis plus récemment
24 avec diverses espèces : soja, haricots (tarbais ou d'Espagne), féverole ou Cowpea. Ces dispositifs ont
25 révélé plusieurs contraintes agronomiques (incompatibilité des cycles culturels, verse, difficultés de
26 semis et de récolte), techniques (taille des graines, absence d'inoculation efficace) et économiques (coût
27 élevé des semences de haricots), freinant leur adoption par les éleveurs (Emile et al., 2016 ; Rault,
28 2019).

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

35 Ces limites observées en France pourraient toutefois être levées grâce à l'identification de souches de
36 rhizobium compatibles avec les légumineuses tropicales. Des tests d'inoculation menés en 2020 par
37 UMR Agroécologie de Dijon sur *Lablab purpureus* et *Vigna unguiculata* (cowpea) ont montré qu'en
38 conditions contrôlées, aucune nodulation ne survenait sans inoculation, confirmant l'absence de
39 souches locales efficaces. En revanche, l'inoculation du lablab avec une souche spécifique
40 (*Bradyrhizobium sp.*) issue d'une collection internationale a permis une nodulation systématique des
41 plantes et une coloration verte plus soutenue du feuillage, suggérant une meilleure nutrition azotée et
42 la mise en place probable d'une fixation symbiotique (résultats non publiés). Ces résultats, bien que
43 préliminaires, ont contribué à justifier le dépôt du projet TROPICOW dédié à l'étude de l'association

44 maïs-lablab en conditions françaises. L'article ci-dessous présente les résultats issus de cette étude.
45 Deux dispositifs complémentaires ont été mis en place : des essais en microparcelles afin d'étudier le
46 comportement agronomique de l'association, et un essai *in sacco* visant à caractériser la valeur nutritive
47 du lablab et à identifier les intérêts et les limites du co-ensilage avec le maïs.

48 Matériels et Méthodes

49 Essai en microparcelles de l'association

50 Dispositif expérimental et conduite de l'essai

51 18 essais ont été conduits entre 2022 et 2024 sur un large gradient pédoclimatique de la façade Ouest
52 par les partenaires du projet TROPICOW, allant de la Mayenne jusqu'aux Pyrénées-Atlantiques. Le
53 dispositif expérimental retenu est un bloc complet randomisé, avec 3 ou 4 répétitions selon les sites. Les
54 microparcelles comprenaient quatre rangs (en pur ou en association), avec un inter-rang de type maïs
55 standard, soit environ 75 cm. Les deux rangs centraux étaient récoltés, représentant une surface
56 minimale de 9 m² par modalité.

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

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

65 La fertilisation a été conduite selon les pratiques locales, en s'appuyant sur les interventions usuelles
66 des agriculteurs partenaires. La gestion des adventices a fait appel à des stratégies diversifiées,
67 combinant désherbage mécanique et/ou désherbage chimique selon les contextes. Les traitements
68 chimiques ont mobilisé différentes matières actives : S-métolachlore et pendiméthaline en pré-levée,
69 puis bentazone en post-levée à partir du stade 3 feuilles.

70 Modalités testées

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

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

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

86 *Table 1 : Rhizobium strains used in the trial network by year (1 nodule n = a formulated product*
87 *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

88

89 L'effet de la dose d'association de lablab a été évalué à travers deux modalités réduisant la densité de
90 semis à 50 000 et 30 000 graines/ha. Enfin, la variété Sustain a été comparée selon les sites et les années
91 aux variétés Opale et Rongaï. Toutes les modalités sont reprises dans le Tableau 2. Les résultats des
92 modalités *M + SUSTAIN 30 Inoc. et M + RONGAI 70 Inoc.* doivent toutefois être interprétés avec
93 prudence, car elles ne sont présentes que sur respectivement un et deux sites parmi les cinq retenus
94 dans l'analyse.

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

96 *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

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

99 **Notations**

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

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

107 À la récolte :

- 108 - Un prélèvement d'au moins 2 mètres de long sur les deux rangs centraux récoltés a été réalisé
109 pour effectuer un tri manuel entre les deux espèces, permettant de déterminer leurs proportions
110 brutes. Deux échantillons ont ensuite été prélevés pour chaque espèce : l'un destiné à la

111 détermination de la matière sèche (séchage 48 h à 80 °C), l'autre à l'analyse de la valeur
112 alimentaire (séchage 72 h à 60 °C).
113 - La récolte complète des deux rangs centraux restants a permis de mesurer le rendement brut de
114 chaque modalité.

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

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

122 Critères d'exclusion des essais

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

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

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

139 Analyses statistiques

140 Les données ont été analysées à l'aide d'un modèle linéaire mixte pour évaluer l'effet des modalités
141 expérimentales sur les rendements et les teneurs en MAT. Le modèle statistique utilisé était de la forme
142 :

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

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

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

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

151 Co-ensilage et mesures de dégradabilité *in sacco*

152 Modalités testées

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

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

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

164 Tableau 3 : Modalités testées dans le dispositif d’essai *in sacco*.

165 *Table 3 : Treatments tested in the in sacco experimental design*

N° modalité	Dénomination	Variété lablab	Part lablab (en % de la MS)	Part de maïs (en % de la MS)	Etat	Innoculum lablab
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

166 Dispositif expérimental et conduite de l’essai

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

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

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

173 Les échantillons utilisés provenaient :

- 174 - pour les aliments A et B : de l’échantillothèque ARVALIS,
175 - pour les aliments C à P : de l’essai agronomique TROPICOW (2023) conduit par Arvalis sur la
176 station expérimentale de La Jaillière (Loireauxence 2023), avec :
177 ○ les lablabs récoltés directement sur l’essai microparcelle,

178 ○ un maïs fourrage prélevé le même jour sur un chantier de récolte classique.

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

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

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

188 Après incubation, les sachets ont été :

- 189 - rincés à l'eau claire immédiatement,
- 190 - stockés au congélateur jusqu'à la fin de l'essai,
- 191 - lavés en machine (Calor, 3 cycles de 5 min à l'eau froide),
- 192 - séchés à 60 °C pendant 72 h,
- 193 - puis stabilisés en dessiccateur à température ambiante avant d'être pesés un par un.

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

198 Analyse statistique

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

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

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

$$204 \quad Y = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \delta_l + A_{ij} + B_{kl} + \varepsilon_{ijkl}$$

205 avec :

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

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

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

219
$$\mu + \alpha_i + \beta_j + A_{ij}.$$

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

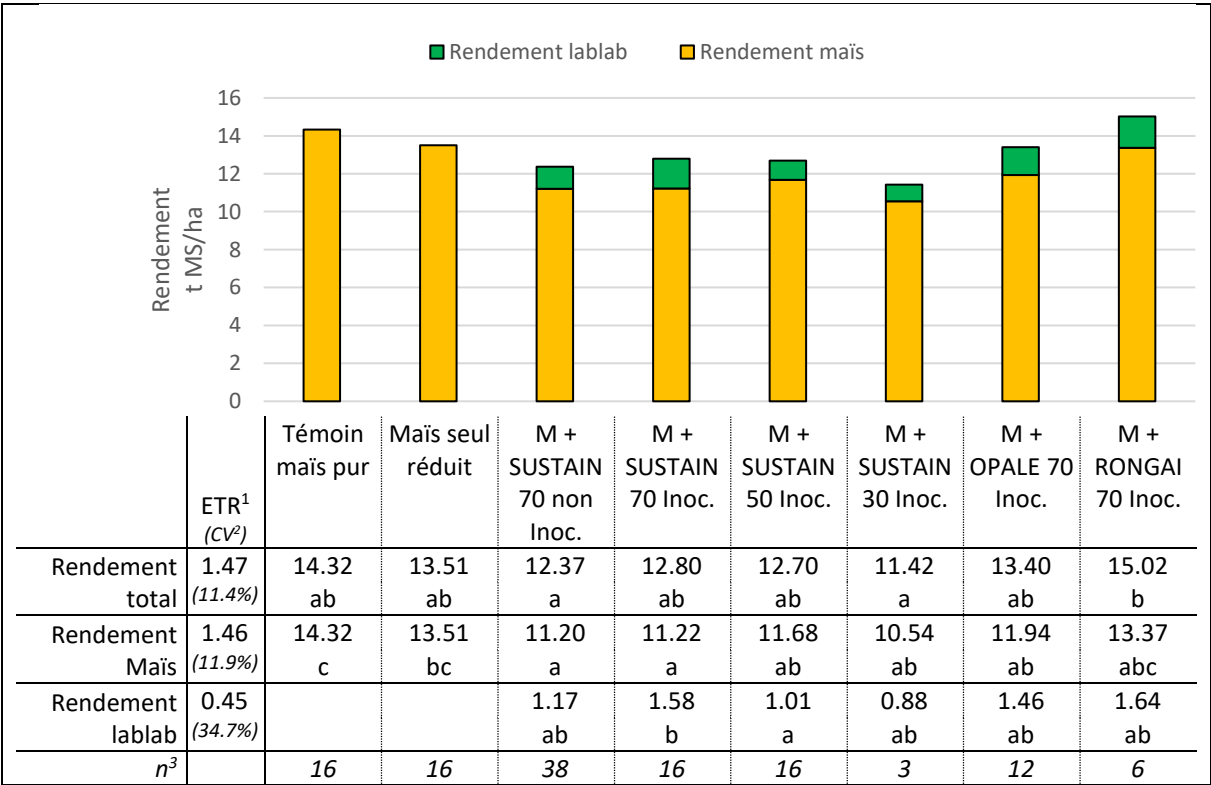
223 Résultats et discussion

224 Résultats des essais au champ

225 Rendement

226 La réduction de la densité de semis du maïs a entraîné une baisse de rendement de 0,81 t MS/ha par
227 rapport au témoin à pleine densité. Cette baisse est accentuée par l'introduction du lablab à une densité
228 de 70 000 grains/ha, avec une perte additionnelle de 2,29 t MS/ha, soit une diminution significative de
229 3,10 t MS/ha de la part du maïs par rapport au témoin maïs seul. Le rendement du lablab inoculé,
230 mesuré à 1,58 t MS/ha, ne suffit pas à compenser cette perte : le rendement total de l'association est
231 donc inférieur de 1,52 t MS/ha (différence non significative).

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



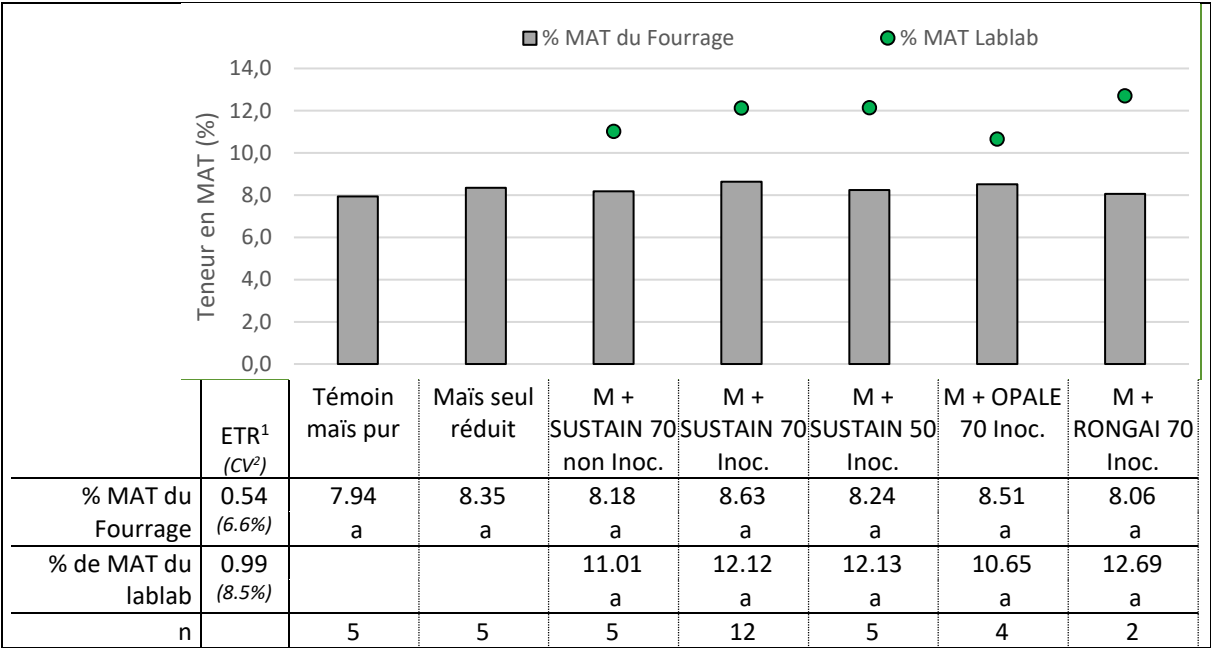
237 Figure 1 : Rendement du maïs fourrage et du lablab dans le réseau d'essais microparcelles. Lettre = test
238 de Tukey au seuil de significativité $\alpha=5\%$ (¹ETR = Ecart-type résiduel, ²Coefficient de variation, ³n =
239 Nombre de données)

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

243 Production de MAT

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

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



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

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

258 Résultat de l’essai de co-ensilage

259 Valeur alimentaire du lablab vert et fermenté

260 Les données de composition chimique et de valeur alimentaire du lablab vert et ensilé présentées dans
 261 le Tableau 4 correspondent à ceux de la variété Sustain inoculée INRA 2 et non inoculée. Dans cet essai,
 262 le lablab ensilé a dosé 22,4 % MS, 9,2 % de cendres, 13,0 % MAT. Le fourrage vert correspondant a dosé
 263 23,2 % MS, 8,1 % de cendres et 12,4 % MAT. Cette valeur est cohérente avec celle mesurée dans le
 264 réseau d’essais agronomiques entre 2022 et 2024. La teneur en MAT est en revanche inférieure à la
 265 référence INRAE en vert (15,7 % MAT).

266 La digestibilité de la matière organique (dMO) des aliments a été estimée à partir de la quantité de
267 matière sèche non dégradée à 48h (MSnd48h) selon l'équation proposée par Peyrat et al (2014). Le
268 calcul des valeurs alimentaires (UFL, UEL, PDI) a été réalisé à partir des paramètres de dégradabilité
269 mesurés *in sacco* (MSnd48h, DT₆Amidon, DT₆N) et des équations de calcul du référentiel INRA 2018.

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

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

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

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

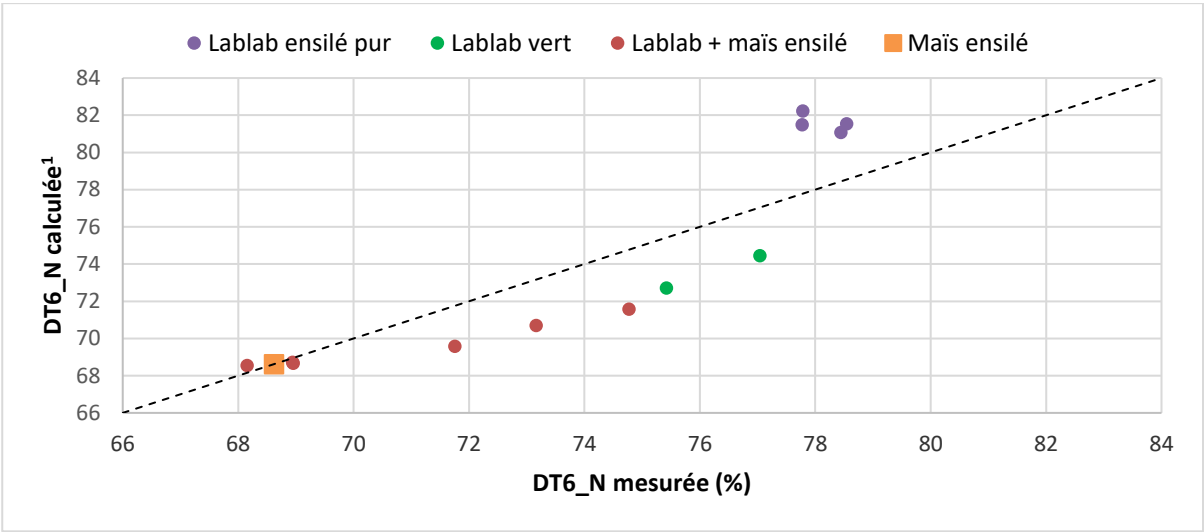
	Fermenté (n=2)	Vert (n=2)
Teneur en MS (%)	23,9	23,9
Cendres (%)	9,3	8,1
MAT (%)	12,6	13,3
MSnd48h (%)	18,8	19,5
dMO_VF (%)	70,0	69,6
UFL_INRA18 via dMO_VF (/kg MS)	0,93	0,90
UEL_INRA18 via dMO_VF (/kg MS)	1,18	0,99
Densité énergétique (UFL/UEL)	0,79	0,90
DT ₆ _N (%)	78,1	76,2
PDI (g/kg MS)	64	78
BPR (g/kg MS)	6	2

287

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

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

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



299

300 ¹La DT₆N_{calculée} correspond à la DT₆N calculée pour le lablab à partir de l'équation légumineuses du référentiel
301 INRAE (vert ou fermenté). La valeur de DT₆N mesurée du maïs a été utilisée pour le calcul des mélanges ensilés au
302 prorata de son taux d'incorporation.

303 Co-ensilage du maïs fourrage et du lablab

304 Composition chimique du mélange

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

309 Le contrôle de cohérence de la composition chimique des mélanges, par différence entre la valeur
310 mesurée et la valeur calculée au prorata des 2 espèces, est conforme au vu des teneurs en cendres et en
311 MAT. En revanche, pour l'amidon, bien que la teneur théorique respecte la proportion attendue entre
312 les deux espèces, il est totalement improbable d'obtenir 14.1 % d'amidon dans le Lablab fermenté pur
313 (100 %). Celui-ci était au stade végétatif lors de la récolte et ne présentait aucune graine. L'hypothèse la
314 plus probable est un surdosage de l'amidon, lié aux teneurs élevées en pectines et en hémicelluloses
315 solubles chez les dicotylédones, comme le Lablab, contrairement au maïs qui contient beaucoup moins
316 de pectines et des fibres plus lignifiées (Cosgrove et al., 1997). Ces composés, solubilisés lors de
317 l'analyse en laboratoire, auraient alors pu libérer des sucres quantifiés à tort comme de l'amidon par
318 l'activité enzymatique.

319 Tableau 5 : Teneur en MS et composition chimique des aliments

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

Etat	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	10,0	13,0
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	

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

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. A 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).

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

Table 6: Starch degradability of feeds measured *in sacco*

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

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

Valeur énergétique du mélange maïs/lablab

La valeur énergétique du maïs fourrage ensilé en pur (utilisé pour la réalisation des bocal 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 ».

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.

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

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

Etat	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*		71,4%	71,1%	70,9%	
UFL_INRA18 via dMO_VF (I/kg MS) mesuré	0,96	0,95	0,93	0,94	0,93
UFL_INRA18 via dMO_VF (I/kg MS) théorique*		0,96	0,95	0,94	
UEL_INRA18 via dMO_VF (I/kg MS) mesuré	0,96	1,02	1,09	1,12	1,17
Densité énergétique (UFL/UEL) mesuré	1,00	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.

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).

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

Table 8: Nitrogen degradability of feeds measured in sacco

Etat	Fermenté				
Part de lablab (%)	0 (n=1)	14 (n=2)	31 (n=2)	47 (n=2)	100 (n=2)
Teneur en MS (%) mesuré	34,4	0,0	0,0	0,0	22,4
MAT (%) mesuré	6,7	7,7	8,6	10,0	13,0
DT₆_N (%) mesuré	68,6	68,6	70,3	74,0	77,8
DT₆_N (%) théorique¹		69,9	71,5	72,9	
PDI (g/kg MS) mesuré	61	62	62	63	65
PDI (g/kg MS) théorique¹		62	62	63	
BPR (g/kg MS) mesuré	-45	-37	-29	-17	8
BPR (g/kg MS) théorique¹		-37	-28	-20	

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

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).

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)

Etat	Fermenté			Vert	
Inoculum	CB1024 (n=1)	INRA 2 (n=1)	Non inoculé (n=1)	INRA 2 (n=1)	Non inoculé (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
DT₆_N (%)	77,8	77,8	78,4	75,4	77,0
PDI (g/kg MS)	65	64	63	76	80

BPR (g/kg MS)	11	5	6	-5	9
----------------------	----	---	---	----	---

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).

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
DT₆N (%)	78.5	77.8
dMO_VF (%)	70.7	70.8
UFL_INRA18 via dMO_VF (/kg MS)	0.94	0.94
DT₆N (%)	78.5	77.8
PDI (g/kg MS)	64	64
BPR (g/kg MS)	6	5

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 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.

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 <i>1kg tourteaux soja pour 1.06kg de blé Soit 208 kg blé x 215 €/t</i>	45 €/ha	Complément azoté <i>+0.7pt MAT x 12.8 t MS/ha = +90kg MAT/ha Soit 196 kg de tourteaux de soja 46% à 500 €/t</i>	98 €/ha
Complément énergétique valeur du fourrage <i>20 kg blé x 12.8 t MS x 215 €/t blé</i>	55 €/ha		
Complément de fourrage (pertes rendement) <i>-1.5 t MS/ha x 135€/t MS ¹</i>	202 €/ha		
	+ 402 €/ha		-138 €/ha
+ 264 €/ha			

¹ Source PEREL, Chambre d’agriculture des Pays de la Loire : Cout du maïs fourrage conventionnel non irrigué à 13t MS/ha rendu silo avec main d’œuvre. (Mise à jour 2024)

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.

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.

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

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