

Projet TROPICOW Volet « Bilan technique »

1- Rappel des objectifs du projet (cf. dossier de candidature)

Le projet TROPICOW vise à mettre au point des itinéraires de production de fourrages mixtes d'été à base de maïs ou sorgho et de légumineuses tropicales ou métropolitaines pour renforcer l'autonomie alimentaire et protéique des élevages de ruminants en systèmes biologique et conventionnel :

- Produire un ou des inocula à base de rhizobia en mesure d'assurer une fixation symbiotique du N₂ par les deux espèces tropicales candidates, Cowpea et Lablab
- Evaluer en serre et au champ la performance de ces inocula produits.
- Etudier les performances agronomiques (rendement, capacité à concurrencer les adventices) des associations « plantes en C4 + légumineuses » dans différents contextes pédoclimatiques,
- Identifier les idéotypes de maïs et de sorgho les plus adaptés à ce type d'association,
- Caractériser les spécificités de récolte (stade, process) et de conservation de ces fourrages, ainsi que leurs valeurs nutritives,
- Mesurer l'incidence économique, environnementale et sociale de l'adoption de ces fourrages mixtes sur le fonctionnement de plusieurs types d'exploitations d'élevage.

2- Méthodologie mise en œuvre

(Analyser les inflexions opérées par rapport au projet déposé)

La méthodologie et l'enchaînement des actions est conforme à ce qui avait été prévu dans le dépôt de projet. La principale modification réside dans le décalage d'une année du projet. La consommation du temps et des crédits au 30 mars 2023 a été compatible avec la prolongation d'une année.

Voir diagrammes de GANTT initial et modifié (figures 2 et 3 p3)

Implication des partenaires ne bénéficiant pas de subventions.

Au début du projet, la coopérative OCEALIA n'était pas comptée comme partenaire mettant en place des essais micro-parcelles. Toutefois leur intérêt pour le projet les a conduits à intégrer un essai micro-parcelles en station expérimentale en 2023.

Objets de tests : possible inflexion pour 2024 :

Les partenaires se proposaient de concentrer leurs efforts sur le lablab puis le cowpea dans les tests expérimentaux au champ, sans s'interdire de tester d'autres légumineuses prometteuses. Nous avons été contactés au début de l'année 2023 par un semencier qui propose de tester des variétés de haricots grimpants, dont l'initiation florale est plus précoce que le lablab ou le cowpea.. Les tests sur cette espèce ne se sont pas avérés concluants.

3- Synthèse des résultats obtenus par action

(Analyser les écarts éventuels avec les objectifs décrits dans le dossier déposé et les résultats attendus)

Action 1 : Définition des thématiques à expertiser au champ et repérage des innovations produites par les éleveurs (pilotage CRA-NA)

- Volet 1 : Définition des thématiques à expertiser au champ

Les échanges avec les éleveurs ont permis de repérer sur les différents points de l'itinéraire technique les points de blocage et d'amélioration, pouvant donner lieu à des tests, soit en serre, soit au champ en grandes bandes, soit en micro-parcelles.

- Préparation du mélange avec l'inoculant

Points de blocage / Observations	Astuces / Suggestions
Temps de travail pour préparer le mélange	Semences pré-inoculées (x3)
Quel type de variété de maïs (port des feuilles, hauteur, vigueur)	Test de types de variétés (x3)
Homogénéité du mélange de graines	Semis en 2 fois ou avec semoir double caisse (x2)
Variétés de lablab actuelles trop tardives par rapport au maïs (fait baisser le taux MS)	Disposer de variétés de lablab plus précoces pour avoir soit des fleurs soit les premières gousses. (x2)

- Date et densité de semis

Points de blocage / Observations	Astuces / Suggestions
Décalage de la date de semis du maïs fait perdre du tonnage	Date de semis classique du maïs fin avril début mai, Semis du Lablab 4 semaines après le semis du maïs avec un semoir spécifique
Décalage de la date de semis du maïs fait perdre du tonnage	Remplacer le maïs par un sorgho pour avoir une date de semis du lablab compatible avec ses besoins en chaleur.
Répartition des grains pas homogène si mélange dans les pots du semoir	Adaptation du fertiliseur ou du micro-granulateur Test de semoir à double trémie ou Twin Row
Semis du lablab trop tardif	Tolérance lablab aux T°C basses / gelées tardives
Densité de semis et proportion du maïs/ au lablab, surtout si lablab inoculé.	Essai de variation de densité du lablab
Pertes de pieds au semis => non levée des graines (pourquoi ?)	Expertiser la « profondeur de semis idéale du lablab » a priori, semis à 1-2 cm = gage de bonne levée

- Désherbage

Points de blocage / Observations	Astuces / Suggestions
Désherbage chimique limité : non connaissance des SA sélectives du lablab ☞ pas de conseil, pas de préconisations	A expertiser ☞ remarque : First (Bromoxynil, Diflufenican, Ioxynil) : destruction lablab
	- Possibilité de « favoriser/constituer » un mulch en surface (couvert végétal « roulé ») et de réaliser un semis direct + associer herbicide si besoin

- Fertilisation

Points de blocage / Observations	Astuces / Suggestions
Quels sont les besoins de l'association en P et K ? Effet d'un engrais starter ?	Mise en place d'essais et réponse avec les analyses chimiques Gestion P, K : pas de changement a priori
Quelle plage de pH idéale pour le lablab Quelle plage de pH idéale pour le Cowpea ?	Test en pots avec différents types de terres
Est-ce que la fertilisation N pour le maïs ne risque pas de limiter la nodulation du lablab ?	Essais avec courbe de réponse à l'azote. => en pot? En micro parcelles?

- Gestion de la récolte

Points de blocage / Observations	Astuces / Suggestions
Demande de puissance supplémentaire sur les parties en lablab, mais pas de bourrages observés (23 et 17) ☞ mais faible biomasse de lablab, à voir si la biomasse du lablab est multipliée par 2 à 4 !	- les récoltes se sont faites avant que les plants de lablab ne passent d'un rang à l'autre. - décaler la date de semis du lablab pour éviter de trop gros développements - Eleveurs équipés d'ensileuses avec « becs Kemper »
Tenue de tige du sorgho limite pour associer avec du lablab	Réaliser un tests avec une variété de sorgho
Bourrages souvent observés (Vendée, avec de fortes biomasses de lablab)	- Test de scie à colza - deux rangs sans lablab (pb du réglage de la densité du maïs sur ces deux rangs : sur bcp de semoirs, pas de possibilité de régler individuellement chaque éléments semeur)
	Vigilance sur le taux d'humidité du mélange car lablab ramène de l'humidité ☞ récolter qqes jours après maturité du maïs ensilage ☞ finesse de hachage à adapter ? (vigilance à ne pas hacher trop fin)

Ecarts et perspectives

Sur les 7 ateliers de co-conception initialement envisagés, 5 ont pu être réalisés. Deux n'ont pas pu se tenir (Pyrénées atlantique et Dordogne), à cause de l'épidémie de COVID 19. Ces groupes n'ont pas été remobilisés par la suite à cause des résultats décevants produits en 2022 et 2023.

- Volet 2 : traque à l'innovation sur la durée du projet :

Réalisation d'enquêtes en 2021 :

- Entretiens approfondis éleveurs 31 éleveurs enquêtés
- Enquête en ligne cible agriculteurs et conseillers France entière. 41 réponses 3 éleveurs enquêtés 10 résultats d'essais compilés.

Préparation du mélange des graines :

La distribution des graines peut être hétérogène dans la trémie et provoquer une irrégularité dans la ligne de semis de la répartition graines maïs/lablab. Préconisations :

- Bien mélanger et préparer des petites quantités hectare par hectare
- Semer en 2 fois avec monograine dans la même ligne de semis

Réglage du semoir

Changement des disques du semoir pour régler la densité de semis à 160 000 pieds/ha **(4)**

Désherbage :

- Désherbage mécanique :
 - Possible en semis sur le rang : herse étrille, bineuse, houe rotative
 - Attention au recouvrement du lablab par des projections de terre lors du passage de bineuse : ne pas aller trop vite pour limiter le recouvrement **(15)**
 - Bineuse avec doigts Kress : arrache 2-5% de lablab au stade 8 feuilles maïs **(1)**

Récolte :

La date de récolte doit être basée sur la maturité du grain de maïs => attendre 3 à 4 jours car le lablab apporte de l'humidité.

Difficultés rencontrées dans 48% des exploitations (12/25) → **freins pour la mise en place de l'association chez les éleveurs :**

Difficultés	Améliorations possibles
Lianes du lablab tenues sur 3 à 4 rangs de maïs tire sur les rangs non ensilés sur le côté et casse des pieds de maïs => Non ramassé	Scies perpendiculaires sectionnant les lianes sur les côtés // scies à colza Semer des rangs de maïs pur pour ensiler des rangs de maïs sur le côté du bec pour éviter de tirer lianes
Risque de verse avant la récolte si lablab passe au dessus du maïs maïs couché peut être ramassé en partie mais lablab non ramassé	Organisation des rangs du semis : introduction de rangs de maïs pur pour assurer un soutien physique de la culture
Fourrage vert et humide qui monte mal dans le bec en conditions humides, collant	Ensiler lorsqu'il fait sec , éviter les conditions humides matinales. Privilégier les conditions de récolte plutôt que l'avancement du lablab
En absence de tuteur le lablab forme un couvert trop bas pour être ramassé Lablab au sol => Non ramassé	Possibilité de faire pâturer les parcelles de maïs/lablab après l'ensilage pour valoriser le lablab resté au sol

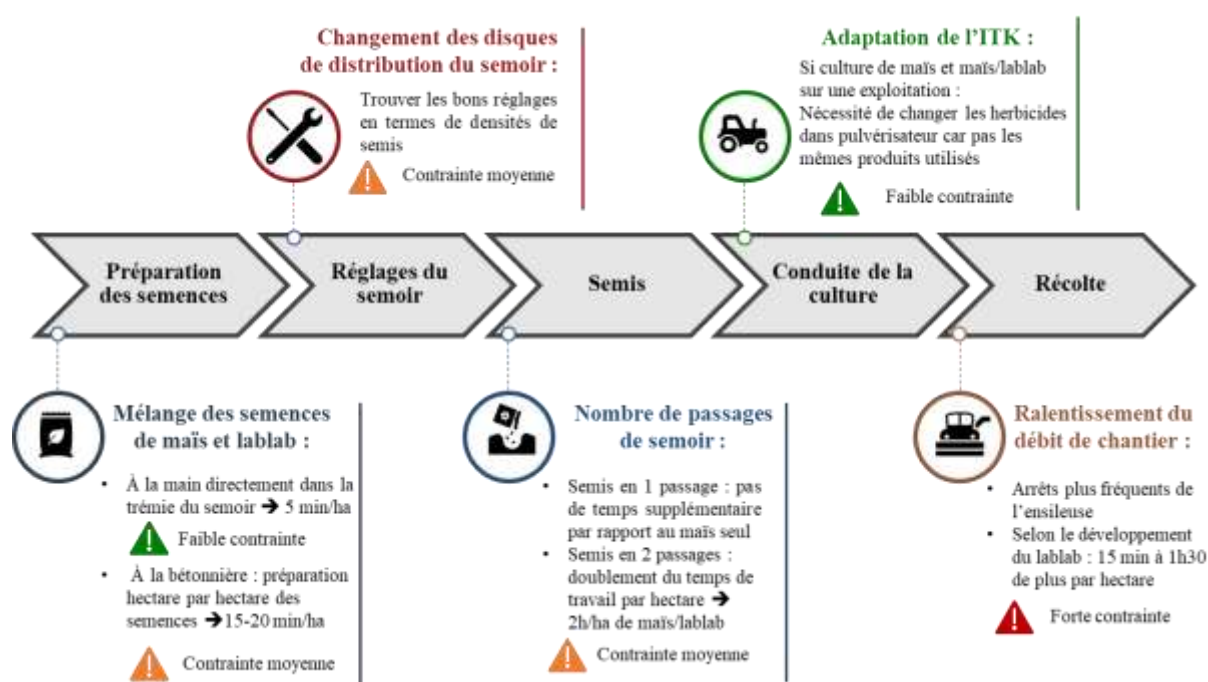
Demande de la puissance à la machine, tire plus sur la machine, ensilage plus lourd	Débrayer les vis sans fin latérales sur le bec pour éviter que le lablab se coince (2) Prévoir d'ensiler moins de surface par jour
--	--

Conservation du fourrage

- Conservation en silo couloir et taupinière : pas de problème de conservation
- Ensilage plus vert et plus humide : odeur dégagée par le lablab : phase de transition entre maïs et maïs/lablab
- Pas d'impact sur l'appétence (92%) voire amélioration de l'appétence (8%)

→ **Difficulté à évaluer l'appétence car effet de dilution du maïs/lablab dans la ration**

Impact sur l'organisation et le temps de travail de l'éleveur :



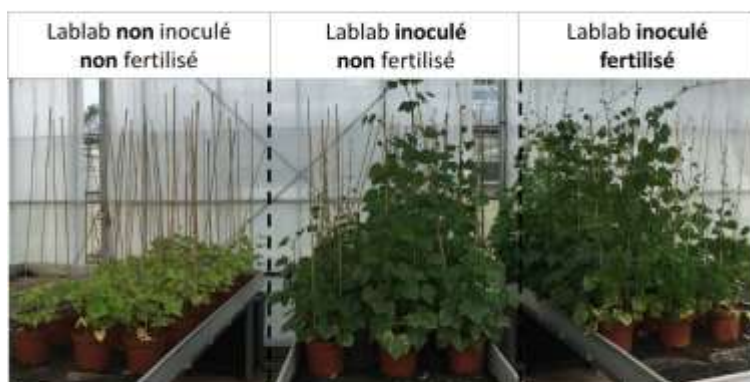
Les productions de l'action 1 sont conformes en terme de réalisation à ce qui avait initialement été prévu dans le projet.

Action 2 – production de références agronomiques

Volet 1 Isolement, caractérisation et sélection de rhizobia candidats à la production d'inoculant

Tests en serre (2021) avec l'inoculant de référence australien CB 1024 :

Pourcentages de levée satisfaisants ~ 90%
 → Pas d'effet du type de sol, de l'inoculation et de la fertilisation

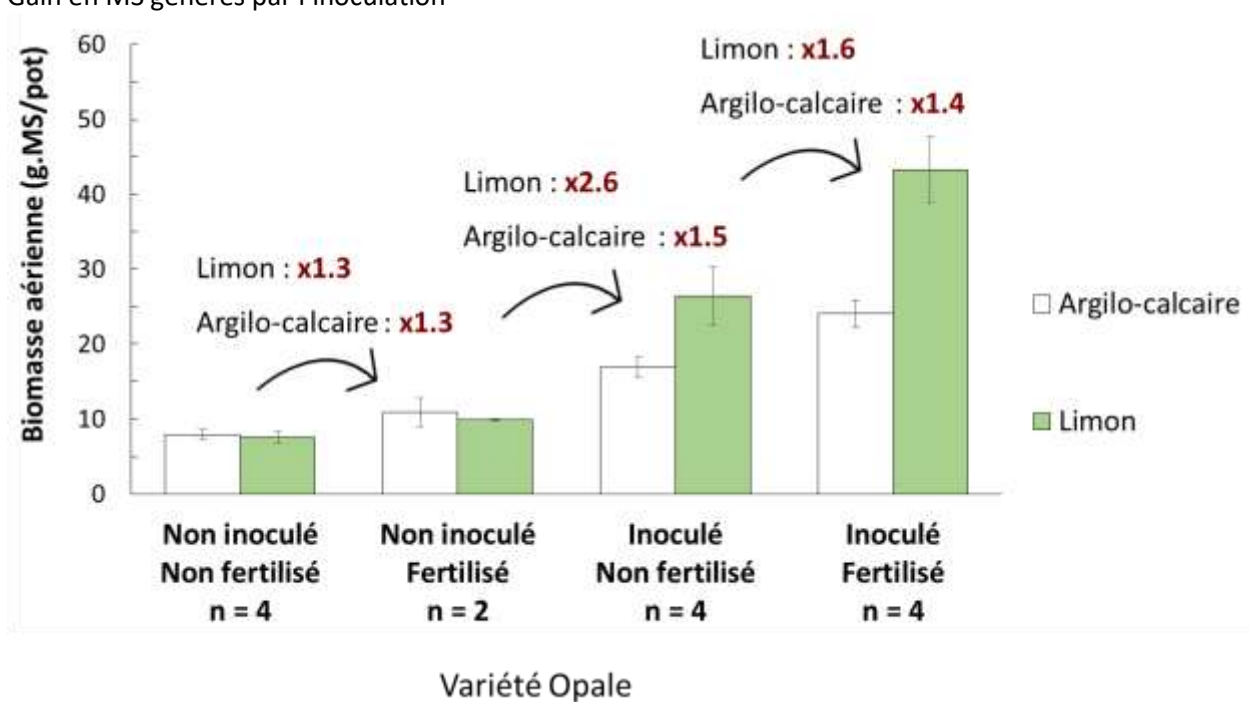


Nodosité blanche non fonctionnelle

Nodosité rose fonctionnelle

Inoculum de soja dans limons ?

Gain en MS générés par l'inoculation



Gains en MAT générés par l'inoculation

Variété	Sustain	Sustain	Sustain	Opale	Rongaï	Sustain	Sustain
Partie analysée	Aérienne	Aérienne	Aérienne	Aérienne	Aérienne	Racinaire	Racinaire
Inoculation	non	oui	oui	oui	oui	non	oui
Fertilisation	non	non	oui	non	non	non	non
MAT (kg/t.MS)	7.71	16.04	20.49	16.14	16.89	11.86	24.9



→ Pas de différence variétale de MAT au stade étudié

Isolement et production d'inoculants pour tests au champ (INRAe Dijon)

Pour le lablab

En 2022 :

- ❑ 2 souches de rhizobia sélectionnées sur 30 isolées de La Réunion (INRA1 & INRA2)
 - Dépôt des PDE à l'ANSES => Recevabilité administrative des dossiers
 - Vérification de la compatibilité des inoculants LABLAB avec les produits phytosanitaires utilisés sur maïs => aucune incompatibilité détectée
 - Production des inoculants pour les essais champs 2022 :

Fourniture de 46 doses d'inoculants => 14 ha (INRA1, INRA2 & CB1024)

- ❑ Evaluation en serre de l'efficacité pour la fixation l'azote atmosphérique de 30 nouvelles souches de rhizobia de La Réunion:

Confirmation de la supériorité des 1ères souches INRA1 & INRA2

- ❑ Evaluation en serre de l'interaction variétés lablab (3) x souches de rhizobia (5)

Absence d'interaction, INRA2 $\geq$ INRA1

En 2023

- ❑ Suite au retour des utilisateurs :

Amélioration des inoculants pour une utilisation facilitée (meilleur séchage sur graine).

- ❑ Production des inoculants, nouvelle formule, pour essais champs LABLAB 2023
- ❑ Suite au défaut de nodulation observé en 2022:

Effet en serre de la fertilisation azotée (différentes doses d'azote minéral) sur la nodulation et la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique de souches nodulant le lablab

Pour le Cowpea :

En 2022

- ❑ Collecte de nodosités de cowpea dans 3 cultures différentes non inoculées à La Guadeloupe
 - Isolements, caractérisation génétiques des isolats :

53 isolats => 22 génotypes

- Evaluation en serre de l'efficacité pour la fixation l'azote atmosphérique de 22 génotypes :

Sélection de la souche la plus efficace pour les essais champs 2023

En 2023 :

- ❑ Demande des permis d'expérimenter (ANSES)
- ❑ Production des inoculants pour les essais champs COWPEA 2023
- ❑ Effet en serre de la fertilisation azotée (différentes doses d'azote minéral) sur la nodulation et la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique de souches nodulant le cowpea

Ecart et perspectives

Les résultats de ce volet sont conformes aux prévisions en terme de réalisation.

Les inoculants produits sont testés depuis 2025 sur des dispositifs de pépinières de variétés de Cowpea sur le site de l'INRAE de Lusignan par AgriObtention, filiale d'INRAE.

Volet 2 : Réseau d'expérimentations analytiques (pilotage : CRA Pays de la Loire)

Matériels et Méthodes

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.

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.*

Tableau 1 : Souches de Rhizobium utilisées dans le réseau d'essai selon l'année (¹Nodule 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

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. 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.

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./m ²)	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

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

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.

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.

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.

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 :

$$\text{Données à expliquer} \sim \text{Modalité} + (1 \mid \text{Année/Site})$$

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.

• Résultats et discussion

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. 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.

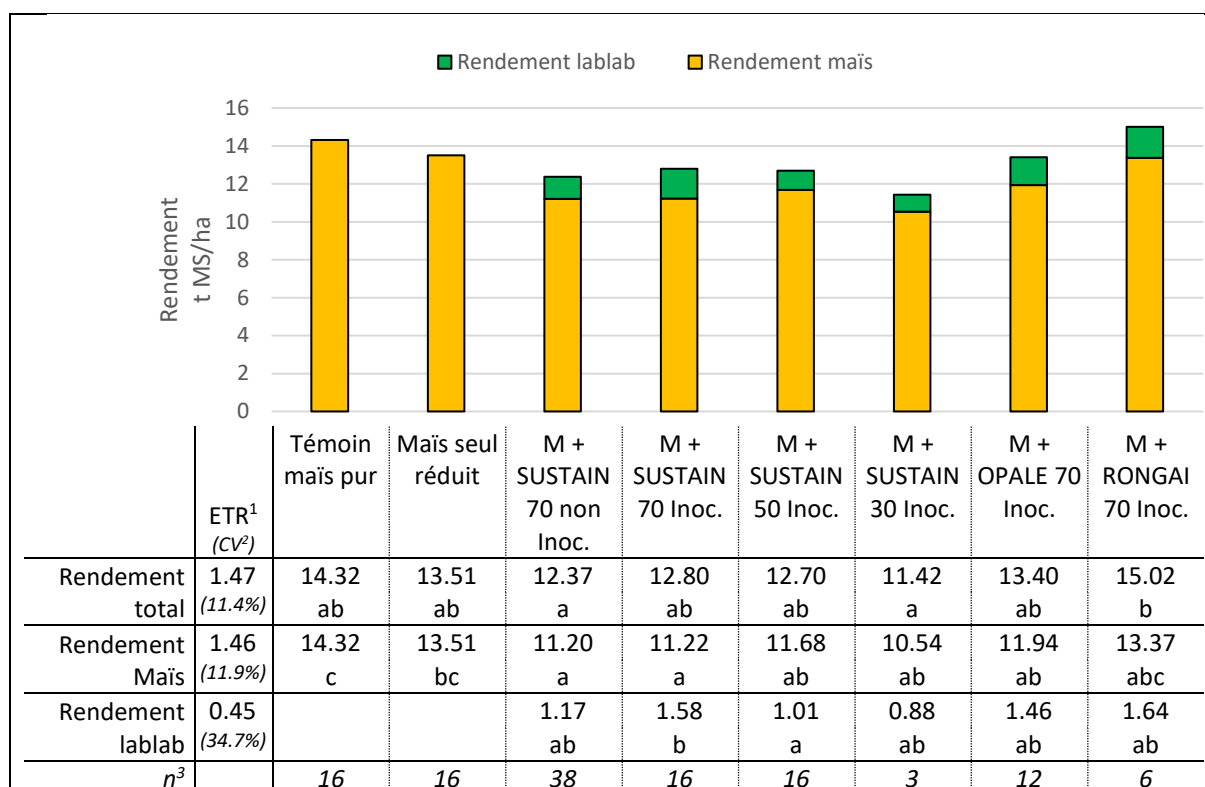


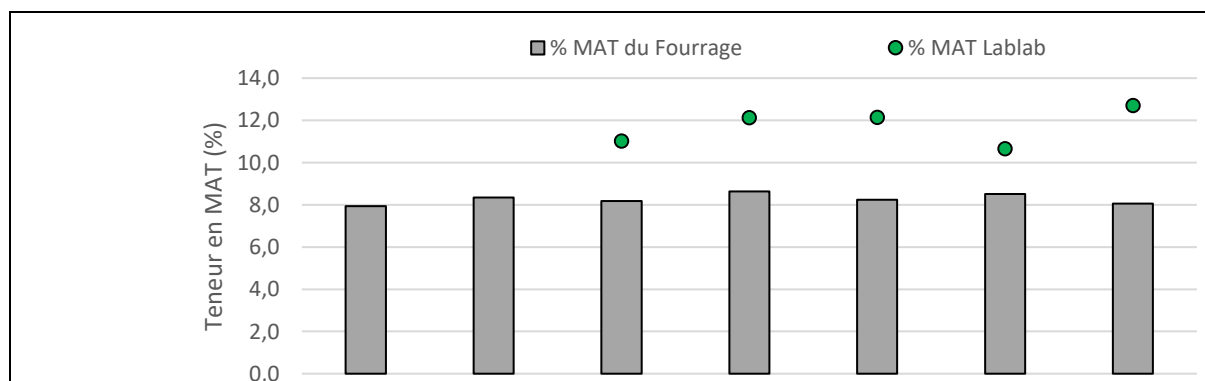
Figure 1 : Rendement du maïs fourrage et du lablab dans le réseau d'essais microparcelles. Lettre = test de Tukey au seuil de significativité $\alpha=5\%$ (¹ETR = Ecart-type résiduel, ²Coefficient de variation, ³n = Nombre de données)

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)

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. 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.



	ETR ¹ (CV ²)	Témoins maïs pur	Maïs seul réduit	M + SUSTAIN 70 non Inoc.	M + SUSTAIN 70 Inoc.	M + SUSTAIN 50 Inoc.	M + OPALE 70 Inoc.	M + RONGAI 70 Inoc.
% MAT du Fourrage	0.54 (6.6%)	7.94 a	8.35 a	8.18 a	8.63 a	8.24 a	8.51 a	8.06 a
% de MAT du lablab	0.99 (8.5%)			11.01 a	12.12 a	12.13 a	10.65 a	12.69 a
n		5	5	5	12	5	4	2

Figure 2 : Teneur en matières azotées totales (MAT) du lablab et du fourrage finale produit. Lettre = test de Tukey au seuil de significativité $\alpha=5\%$ (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 $\alpha = 5\%$ (¹res = residual standard deviation, ²cv = coefficient of variation, ³n = number of data points)

Ecarts et perspectives

Les résultats de ce volet sont conformes aux prévisions en terme de réalisation.

Action 3 : caractérisation des fourrages produits et effet de leur intégration sur les systèmes de culture et d'élevage

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.

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 (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

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'échantillonnage 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 :
 - o les lablabs récoltés directement sur l'essai microparcelle,

- 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.

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 ($i = 1$ à 15),
- β_j : effet du temps d'incubation ($j = 4$ ou 3 selon la phase),
- γ_k : effet de la vache ($k = 1$ à 3),
- δ_l : effet de la série ($l = 1$ ou 2),
- A_{ij} : interaction aliment × temps d'incubation,
- B_{kl} : interaction vache × 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.

Résultat de l'essai de co-ensilage

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 (DT₆N) 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.

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

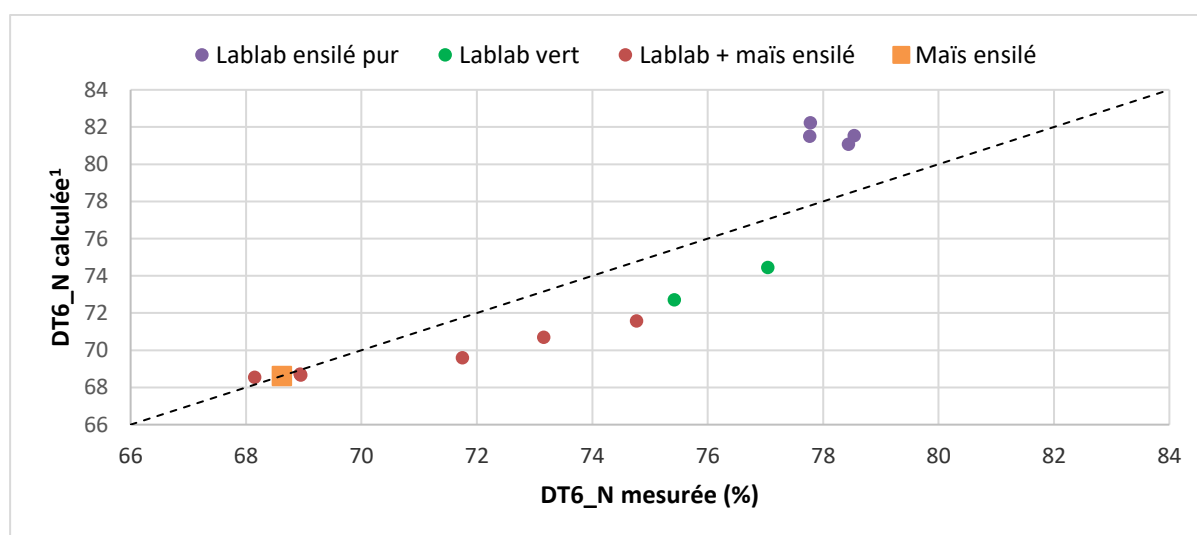
Table 4: Chemical composition and nutritional value of fresh and ensiled Sustain lablab

	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 (%)	70,0	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

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.

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.

Co-ensilage du maïs fourrage et du lablab

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 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** 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.

Tableau 5 : Teneur en MS et composition chimique des aliments

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

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				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 bœaux 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 (n=1)	14 (n=2)	31 (n=2)	47 (n=2)	100 (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 (/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	1,00	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 (%) 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.

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 et conséquences économiques

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 MS¹</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)

Ecarts et perspectives

Les résultats de ce volet sont conformes aux prévisions en terme de réalisation. Toutefois, étant donné que les résultats de l'association sont en deçà de ce qui était attendu, les groupes d'éleveurs ont perdu leur intérêt pour le sujet et il n'a pas été possible de les remobiliser pour réaliser des ateliers de co-conception en fin de projet.

Action 4 : Capitalisation et diffusion des connaissances

Cette action présente une volumétrie en terme de jours et de nombre de livrables inférieure à ce qui était initialement prévu.

Le nombre de livrable réalisés est inférieur à ce qui avait été programmé, pour deux raisons :

- L'année « blanche » d'expérimentation en 2022 qui n'a pas permis de produire du fourrage de la qualité attendue pour réaliser l'expérimentation *in sacco* de l'action 3 a conduit à solliciter le rallongement d'une année du projet. Les partenaires ont pu mener une année supplémentaire d'expérimentation. Ce temps consacré à la réalisation d'une campagne supplémentaire de suivi n'a pas été mobilisé pour la réalisation des livrables.
- Les résultats en deçà des attentes en terme de qualité des fourrages produits n'ont pas été de nature à engager un travail de diffusion massive de la pratique.

Toutefois, le fait d'avoir démontré par un réseau d'essais plurilocal et pluriannuel, avec une analyse robuste que l'association maïs/ lablab n'est à ce jour pas mature pour être proposée largement aux éleveurs est un résultat en soi.

Action 5 : Coordination du projet

Les points réguliers entre acteurs d'horizons différents ont permis de consolider une culture commune sur la conduite et la gestion de projet.

Deux éléments sont à souligner :

- D'une part la bonne communication entre les différents acteurs qui a permis de déceler les risques de non aboutissement dans les délais d'une action dont les livrables conditionnaient la réalisation d'une action suivante. La complémentarité entre les acteurs de la recherche fondamentale et appliquée et les organismes de développement a également bien fonctionné.
- L'enrichissement mutuel de 3 communautés qui se côtoient peu au jour le jour :
 - les agronomes du végétal,
 - les zootechniciens
 - les microbiologistes

En effet, les partages de résultats et des attentes des différentes parties lors des séminaires annuels ont permis de construire une culture commune.

Ecart et perspectives

Pas d'éléments factuels sur les résultats.

La volumétrie de jours réalisée est supérieure à ce qui avait été prévue, du fait du rallongement du projet d'une année.

Conclusion

Le projet TROPICOW a mobilisé un large panel d'acteurs et a permis de mener à bien un projet pluridisciplinaire. La structuration de ce projet peut être inspirante pour des projets à venir sur l'optimisation et la sécurisation de la conduite de cultures aujourd'hui mineures en France métropolitaine, comme le sorgho, le millet pour les céréales, le pois chiche ou la lentille pour les légumineuses. Ces cultures présentent en effet des atouts pour diversifier les successions de culture dans les assolements, pour lutter sans pesticides de synthèse contre les adventices, mais permettent également d'envisager une adaptation des systèmes de production de grandes cultures au changement climatique. Ces cultures présentent aujourd'hui plusieurs verrous, qui relèvent à la fois de la production au champ et de la structuration des filières. Des projets sont organisés dans certaines régions autour soit de la production au champ, soit des filières, mais il conviendrait de lever ces verrous de manière combinée au travers de projets pluridisciplinaires.