

**Étude de l'association de cultures maïs–haricot comme moyen de gestion des adventices, et impacts sur les rendements.**



*Photo de l'association maïs haricot, avec haricot Vigneronne en fleur*

Monographie présentée par :

**Arthur CHAPPUIS**

Pour l'obtention du titre Bachelor of Science HES-SO en Agronomie

**Novembre 2021**

Professeur HES responsable TB

**Dr. Nicolas Delabays**

Superviseur

**Ludovic Piccot**

Responsable de la filière  
Agronomie

**Pascal Boivin**

## Déclaration

Ce travail de Bachelor est réalisé dans le cadre de l'examen final de la Haute École du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève, en vue de l'obtention du titre de Bachelor HES en Agronomie.

Les conclusions et recommandations formulées dans ce travail, sans préjuger de leurs valeurs, n'engagent ni les responsabilités de l'auteur, ni celle du Prof. HES responsable TB ni celle du superviseur, ou des experts et de Hepia.

« J'atteste avoir réalisé seul le présent travail, sans avoir utilisé des sources autres que celles citées dans la bibliographie »

Fait à Genève le 16.11.21

Arthur CHAPPUIS

## Remerciements

Je remercie mon professeur responsable, Dr. Nicolas Delabays, ainsi que le superviseur, M. Ludovic Piccot (Agridea), pour le suivi apporté dans ce projet et l'accès fournit à la parcelle test. Je remercie également les agriculteurs sans qui cette étude n'aurait pas été possible : Thomas Läser pour le semis et le sarclage, Yvan Chollet pour la moisson, et Jean-Pierre Jossy pour le séchage de la récolte et le triage des 2 cultures. Encore un grand merci à Pierre Pignon, pour son accueil chaleureux à l'Agroscope Changins, et l'accès fournit à leur étuve ainsi qu'à l'égraineuse de maïs. Également à Timothé Sonzogni, auteur du travail conjoint sur l'« Évaluation de la productivité et des nutritons en azote et en phosphore des cultures associées de maïs et de haricot grimpant en grandes cultures», pour cette collaboration intense et fructueuse. Enfin je remercie l'équipe qui nous a accompagné lors des travaux au champ et des mesures post-récoltes (Antoine Fevre, Clément Maye, Christophe Javet, Patrick Délévaux, Thibaud Kellerhals Marie Fiorina, Giotto Baranzini, Amir Amiri, Jerson Rodriguez, Mireille Rigotti, Noh Fitsum et Jason Mischol), ainsi que M. Bastien et Mme Nathalie pour le soutien psychologique et domestique lors de la rédaction.

## Résumé

Les associations de cultures sont un nouvel outil, principalement utilisés en culture biologique, qui permet de limiter les adventices tout en protégeant le sol des intempéries. L'association maïs-haricot est fréquemment utilisée pour produire du fourrage. Dans cette étude les variétés « Evolino » pour le maïs et « Borlotto Lamon » et « Vigneronne » pour les haricots, ont été sélectionnées pour la consommation humaine en polenta et haricots secs. L'objectif de cette étude est d'observer l'effet sur les adventices d'une telle association, ainsi que les éventuels impacts sur le rendement qui en découlent.

L'essai prend place sur 5 bandes de 12 rangs (30x200m), avec sur l'une d'entre elles l'association entre le maïs et les 2 variétés en inoculées et non inoculées, soit 4 modalités d'associations. Sur les 4 autres bandes, ainsi qu'au milieu de la bande associée, prennent place les différentes cultures pures correspondantes. Un passage de sarclage est effectué sur la moitié de l'essai (5x16m).

Les résultats obtenus montrent un contrôle efficace des adventices par les cultures associées, tout particulièrement par la variété Vigneronne en inoculée. Le sarclage s'est avéré utile en associations comme en cultures pures, mais son efficacité a été encore plus importante en cultures associées. Les rendements n'ont pas été affectés négativement par la concurrence entre Vigneronne inoculée et le maïs (LER de 1,59 et 1,69) qui sont intéressants. L'indice de rentabilité pour cette culture est supérieur à celui du maïs de plus du double (IER de 2,07 et 2,15). Les 4 autres associations, bien que moins intéressantes, ont toutes obtenues des LER supérieurs à 1.

Cette étude démontre que l'association maïs-haricot est prometteuse, et qu'il serait intéressant de tester plus de variétés afin d'exploiter le plein potentiel de ce système. L'effet des inoculants semble également bénéfique, et mérite d'être approfondi dans de prochaines études.

## Summary

Crop associations are a new tool, mainly used in organic farming, which allows to limit weeds while protecting the soil from bad weather. The corn-bean combination is frequently used to produce forage. In this study the varieties 'Evolino' for maize and 'Borlotto Lamon' and 'Vigneronne' for beans were selected for human consumption in polenta and dry beans. The objective of this study is to observe the effect on weeds of such an association, as well as the possible impact on the yield.

The trial takes place on 5 strips of 12 rows (30x200m), with on one of them the association between corn and the 2 varieties in inoculated and non-inoculated, that is to say 4 modalities of associations. On the 4 other strips, as well as in the middle of the associated strip, the different corresponding pure crops are planted. A weeding pass is made on half of the trial (5x16m).

The results obtained show an effective control of the weeds by the associated crops, especially by the variety Vigneronne in inoculated. Weeding was useful in both combinations and in pure crops, but its effectiveness was even greater in combined crops. Yields were not negatively affected by competition between inoculated Vigneronne and corn (LER of 1.59 and 1.69) which are interesting. The profitability index for this crop was more than double that of corn (IER of 2.07 and 2.15). The other 4 associations, although less interesting, all obtained LER higher than 1.

This study shows that the corn-bean combination is promising, and that it would be interesting to test more varieties in order to exploit the full potential of this system. The effect of inoculants also seems to be beneficial, and deserves to be further investigated in future studies.

## Zusammenfassung

Mischkulturen sind ein neues Instrument, das vor allem im ökologischen Landbau eingesetzt wird, um Unkräuter einzudämmen und gleichzeitig den Boden vor Witterungseinflüssen zu schützen. Die Kombination aus Mais und Bohnen wird häufig zur Erzeugung von Futtermitteln verwendet. In dieser Studie wurden die Sorten "Evolino" für Mais und "Borlotto Lamon" und "Vigneronne" für Bohnen für den menschlichen Verzehr als getrocknete Polenta und Bohnen gezüchtet. Ziel dieser Studie ist es, die Auswirkungen einer solchen Kombination auf Unkräuter und die daraus resultierenden möglichen Auswirkungen auf den Ertrag zu untersuchen.

Der Versuch wird in 5 Streifen von 12 Reihen (30x200m) durchgeführt, wobei in einem Streifen Mais mit den beiden Sorten inokuliert und nicht inokuliert kombiniert wird, d.h. 4 Kombinationsmodalitäten. Auf den anderen 4 Streifen sowie in der Mitte des vergesellschafteten Streifens werden die entsprechenden Reinkulturen angebaut. Auf der Hälfte des Versuchs (5x16m) wird gejätet.

Die Ergebnisse zeigen eine wirksame Unkrautkontrolle durch die vergesellschafteten Kulturen, insbesondere durch die Sorte Vigneronne, die inokuliert wurde. Hacken erwies sich sowohl in Mischkulturen als auch in Reinkulturen als nützlich, wobei die Wirksamkeit in Mischkulturen sogar noch höher war. Die Erträge wurden durch die Konkurrenz zwischen Vigneronne inokuliert und Mais (LER 1,59 und 1,69), die interessant sind, nicht negativ beeinflusst. Der Rentabilitätsindex für diese Kultur ist mehr als doppelt so hoch wie der für Mais (IER von 2,07 und 2,15). Die anderen vier Kombinationen waren zwar weniger interessant, erzielten aber alle einen LER von über 1.

Diese Studie zeigt, dass die Kombination von Mais und Bohnen vielversprechend ist und dass es interessant wäre, mehr Sorten zu testen, um das volle Potenzial dieses Systems auszuschöpfen. Die Wirkung von Impfmitteln scheint ebenfalls vorteilhaft zu sein und sollte in weiteren Studien vertieft werden.

## Table des Matières

Déclaration.....	ii
Remerciements .....	iii
Résumé .....	iv
Summary.....	v
Zusammenfassung.....	vi
Table des Matières .....	i
Liste des Figures.....	iv
Liste des Tableaux : .....	vi
Liste des Images .....	vii
Liste des Abréviations : .....	viii
Introduction .....	1
1. Intérêts de l'association « maïs-haricot » .....	3
1.1 Utilisation des ressources .....	6
1.1.1 Eau .....	6
1.1.2 Ressources du sol.....	8
1.1.3 Radiations solaires.....	9
1.2 Productivité.....	10
1.2.1 Rendements .....	10
1.2.2 Production de biomasse .....	13
1.2.3 Rentabilité .....	13
1.3 Phytosanitaires.....	14
1.3.1 Adventices .....	15
1.3.2 Ravageurs .....	18
1.3.3 Maladies .....	21
2 L'association « maïs-haricot » en pratique.....	23
2.1 Mise en place de la culture .....	23
2.1.1 Choix des variétés.....	23
2.1.2 Méthode de semis.....	24
2.2 Conduite.....	25
3. Plan expérimental.....	27
3.1 Introduction.....	27
4 Matériel & méthodes .....	28
4.1 Situation .....	28
4.2 Matériel végétal et inoculants .....	29
4.3 Mise en place de l'essai & Conduite.....	30
4.4 Modalités et unité expérimentales (UE).....	33
4.5 Récolte des échantillons.....	36
4.6 Mesures & Observations.....	37
4.6.1 Mesures non destructives.....	37
4.6.2 Mesures destructives .....	38
4.7 Analyse des données .....	40
5. Résultats et Discussions : .....	41

Étude de l'association de cultures maïs-haricot comme moyen de gestion des adventices, et impacts sur les rendements.

5.1	Suivit de culture.....	41
5.1.1	<i>Surface de sol nu</i> .....	42
5.1.1.1	Résultats .....	42
5.1.1.2	Discussion .....	44
5.1.2	<i>Surface de recouvrement par la culture</i> .....	45
5.1.2.1	Résultats .....	45
5.1.2.2	Discussion .....	47
5.1.3	<i>Surface de recouvrement par les adventices</i> .....	49
5.1.3.1	Résultats .....	49
5.1.3.2	Discussion .....	52
5.1.4	<i>Comptage des adventices</i> .....	54
5.1.4.1	Résultats .....	54
5.1.4.2	Discussion .....	57
5.1.5	<i>Détermination des adventices principales</i> .....	59
5.1.5.1	Résultats .....	59
5.1.5.2	Discussion .....	60
5.1.6	<i>Discussion générale du suivit de cultures</i> .....	62
5.2	Mesures post-récolte.....	63
5.2.1	<i>Biomasses des parties aériennes</i> .....	63
5.2.1.1	Résultats .....	63
5.2.1.2	Discussion .....	66
5.2.2	<i>Rendement en grains</i> .....	68
5.2.2.1	Résultats .....	68
5.2.2.2	Discussion .....	72
5.2.3	<i>Discussion générale des mesures post-récoltes</i> .....	73
5.3	indices d'évaluation des cultures associées .....	76
5.3.1	<i>%WSE</i> .....	76
5.3.1.1	Résultats .....	76
5.3.1.2	Discussion .....	77
5.3.2	<i>LER</i> .....	79
5.3.2.1	Résultats .....	79
5.3.2.2	Discussion .....	80
5.3.3	<i>IER</i> .....	81
5.3.3.1	Résultats .....	81
5.3.3.2	Discussion .....	83
5.3.4	<i>MEY</i> .....	84
5.3.4.1	Résultats .....	84
5.3.4.2	Discussion .....	86
5.4	Résultats généraux.....	87
5.5	<i>Discussion générale</i> .....	90
6	Conclusion.....	91
	Bibliographie .....	93
	Annexe 1 : Fiche descriptive de la ferme pilote de Mapraz (GE) .....	96

<b>Annexe 2 : Conditions climatiques de la parcelle.....</b>	<b>97</b>
<b>Annexe 3 : Analyse de sol .....</b>	<b>99</b>
<b>Annexe 4 : Echelle BBCH du maïs et du haricot.....</b>	<b>100</b>
<b>Annexe 5 : Fiche d'estimation visuelle du recouvrement .....</b>	<b>108</b>
<b>Annexe 6 relevés des stades phénologiques.....</b>	<b>109</b>
<b>Annexe 7 : Statistique (ANOVA) pour le % sol nu.....</b>	<b>110</b>
<b>Annexe 8 : Statistiques (ANOVA) pour le % culture .....</b>	<b>111</b>
<b>Annexe 9 : Statistiques (ANOVA) pour le % adventices.....</b>	<b>112</b>
<b>Annexe 10 : Statistiques (ANOVA) pour le nbr d'adventices .....</b>	<b>113</b>
<b>Annexe 11 : Boîtes à moustaches du comptage des adventices, le 21/09.....</b>	<b>114</b>
<b>Annexe 12 : Statistiques (ANOVA) pour les biomasses .....</b>	<b>115</b>
<b>Annexe 13 : Statistiques (ANOVA) pour les rendements .....</b>	<b>116</b>
<b>Annexe 14 : ACP .....</b>	<b>119</b>

## Liste des Figures

Figure 1: Maïs ( <i>Zea mays</i> ) image tirée du site Plant For A Future .....	3
Figure 2: <i>Phaseolus vulgaris</i> , issu du site Biopix (à gauche), et <i>Phaseolus coccineus</i> issu du site Wikipédia (à droite).....	4
Figure 3: impact des cultures associées, sur les différentes étapes de la dynamique des populations de ravageurs (d'après Perrin & Phillips, 1978). .....	18
Figure 4: plan de la ferme pilote de Mapraz (tiré de Google maps, remaniement graphique Timothé Sonzogni).....	28
Figure 5: liste du matériel végétal utilisé (catalogue Sativa).....	30
Figure 6: Schéma de l'essai.....	31
Figure 7: Zoom sur la petite parcelle .....	31
Figure 8: Rotation de culture de la ferme pilote de Mapraz.....	33
Figure 9: Méthode de prélèvement des échantillons .....	36
Figure 10: Graphique de l'évolution des estimations visuelles de la surface de sol nu (%), entre le 9/07 et le 7/10, pour les 18 modalités. ....	43
Figure 11: Graphique de l'évolution de la surface de recouvrement du sol par la culture (%), pour les modalités sarclées et non-sarclées. ....	46
Figure 12: semis de l'essai, avec les roues du tracteur sur les rangs 4, 5, 6 (Vigneronne) et 7, 8, 9 (Borlotto inoculé) (photo Timothé Sonzogni). ....	48
Figure 13: Graphique de l'évolution de la surface de recouvrement par les adventices (%), aux 7 dates de relevés, pour les modalités sarclées (à gauche) et non sarclées (à droite). ....	50
Figure 14 : Graphique de l'évolution de la surface de recouvrement par les adventices (%), aux 7 dates de relevés, pour les modalités en cultures pures (à gauche) et associées (à droite). ....	51
Figure 15: Boîtes à moustaches du comptage des adventices/m <sup>2</sup> , lors du le relevé du 7 septembre, pour les modalités sarclées, non-sarclées, associées et pures. Avec lignes de références correspondant à la médiane du maïs pur non sarclé (2) et sarclé (0,75).....	55
Figure 16: Graphique de l'évolution du nombre d'adventices/m <sup>2</sup> , au 7 dates de relevés, pour les modalités en culture associées et en culture pures. ....	57
Figure 17: Graphiques en secteurs des modes des adventices principales à chacune des 6 dates de relevés .....	61
Figure 18 : Boîtes à moustaches des biomasses des parties aériennes des cultures et des adventices, pour les 18 modalités, avec 4 lignes de références correspondant aux moyennes des valeurs en maïs pur. ....	64
Figure 19: Boîtes à moustaches des biomasses des parties aériennes des cultures et des adventices, pour les modalités en association, avec 4 lignes de références correspondant aux moyennes des valeurs en maïs pur.....	65
Figure 20: Boîtes à moustaches des biomasses des cultures (en bleu) et des adventices (en orange), pour les modalités de haricots purs.....	66
Figure 21: Boîtes à moustaches des rendements en grains de maïs à 86% de MS (kg/ha), pour les modalités sarclées (en vert) et non-sarclées (en bleu). Avec deux lignes de références correspondant aux moyennes des maïs purs (7776 = sarclé) (7662 = non-sarclé). ....	70
Figure 22: Boîtes à moustaches des rendements en grains de haricots à 87% de MS (kg/ha) pour les modalités sarclées (en haut) et non-sarclées (en bas). Avec 2 lignes de liaisons des moyennes pour les modalités associées et pures. ....	71
Figure 23: Carte des pourcentages de réduction des adventices par les cultures associées (%WSE), par rapport aux cultures de maïs purs correspondantes (sarclés ou non-sarclés) .....	77
Figure 24: Carte des LER des différentes associations, avec ligne de référence de 1, correspondant une efficacité d'utilisation du terrain similaire à 2 monocultures .....	80

<b>Figure 25 : Carte des indices de la valeur totale du rendement (IER) pour les différentes modalités en cultures associées, avec 2 estimations du prix de haricot différentes. ....</b>	<b>82</b>
<b>Figure 26: Cartes des MEY de toutes les modalités, avec 2 estimations du prix des haricots : 10 CHF/kg et 1,21 CHF/kg. ....</b>	<b>85</b>
<b>Figure 27: Graphique des individus de l'ACP, avec le pourcentage de la qualité de représentation par les axes 1 et 2 (encadré en rouge). ....</b>	<b>88</b>
<b>Figure 28: Graphique des variables de l'ACP ....</b>	<b>89</b>

## Liste des Tableaux :

Tableau 1: Nombre d'espèces d'arthropodes dont la dynamique de population est affectée par les cultures associées. Entre parenthèse le pourcentage des espèces étudiées (d'après Andow 1991). .....	19
Tableau 2: Randomisation des lignes de relevés .....	35
Tableau 3: Stades phénologiques de chaque variété, aux différentes dates de relevés.....	41
Tableau 4: Moyennes des estimations de la surface de sol nu (%), aux 7 dates de relevés.....	42
Tableau 5: Moyennes des estimations de la surface de recouvrement par la culture (%), aux 7 dates de relevés .....	45
Tableau 6: Moyennes des estimations de la surface de recouvrement par la culture (%), aux 7 dates de relevés .....	49
Tableau 7: Moyennes des nombre d'adventices/m <sup>2</sup> , aux 6 dates de relevés. ....	54
Tableau 8: liste des adventices principales .....	59
Tableau 9: Modes des adventices principales .....	60
Tableau 10: Moyennes des biomasses des cultures (maïs + haricots) et des biomasses des adventices (kg de MS/ha) .....	63
Tableau 11: Moyennes des rendements en grains des cultures de haricots et de maïs (kg/ha) .....	68
Tableau 12 : Pourcentage du rendement en haricot des associations récolté mécaniquement (=gousses au-dessus de 20 cm), pour les 2 variétés.....	72
Tableau 13: Pourcentages de réduction moyens des adventices par les cultures associées par rapport aux cultures pures de maïs correspondantes (%WSE Maïs) et aux cultures pures de haricots correspondantes (%WSE Haricot). ....	76
Tableau 14: Indices de l'efficacité d'utilisation du terrain (LER) pour les différentes modalités en association.....	79
Tableau 15: Indices de la valeur totale du rendement (IER) pour les modalités en cultures associées, avec 2 estimations du prix de haricots différentes .....	81
Tableau 16: Rendements équivalent en maïs (MEY) exprimés en kg de maïs/ha, pour les 18 modalités.....	84
Tableau 17: Synthèse de l'ensemble des mesures post-récoltes et indices de comparaison, pour les 8 associations.....	87

## Liste des Images

<b>Image 1: l'association des 3 sœurs, ou "Milpa", issu du site Wikipédia .....</b>	<b>5</b>
<b>Image 2: Photos de l'essai au moment d'enlever les P-17 (à gauche) et le jour du sarclage (à droite). Stades phénologiques moyens = 17 et 26 (photos Timothé Sonzogni).....</b>	<b>32</b>
<b>Image 3: Jonction entre la zone de haricots purs (Vigeneronne inoculées) et l'association (photo Timothé Sonzogni).....</b>	<b>34</b>
<b>Image 4: récolte entreposée en grange en attendant le séchage (photo Timothé Sonzogni).....</b>	<b>36</b>
<b>Image 5: Culture associées le jour de la récolte des échantillons (22 octobre) et à la moisson (10 novembre) (photo Timothé Sonzogni).....</b>	<b>37</b>
<b>Image 6 : Estimation visuelle de la surface de recouvrement (photo Timothé Sonzogni).....</b>	<b>38</b>
<b>Image 7: Epis et grains de maïs Évolino (photo Timothé Sonzogni).....</b>	<b>39</b>
<b>Image 8: grains de maïs, Vigeneronne, et Borlotto issus de l'essai (photo Timothé Sonzogni).....</b>	<b>40</b>
<b>Image 9 : Grains de haricot prêts pour le séchage (photo Timothé Sonzogni). ...</b>	<b>40</b>
<b>Image 10 : Aperçu de la couverture de sol, le 10 août (19 jours après le sarclage), pour la culture associée (à gauche) et de haricot purs (à droite) (photos Timothé Sonzogni).....</b>	<b>53</b>
<b>Image 11: : Aperçus de la couverture du sol et de la quantité d'adventices, pour la culture pure de Vigeneronne inoculée (à gauche) et sa culture associée (à droite), le 21 septembre (date avec le plus d'adventices) (photos Timothé Sonzogni).....</b>	<b>58</b>
<b>Image 12: Produits issus de la moisson (Maïs et haricots) (10 novembre), pour toute la bande en association .....</b>	<b>69</b>
<b>Image 13: gousse de Borlotto (à gauche) et de Vigeneronne (à droite) .....</b>	<b>75</b>

## Liste des Abréviations :

C3 = forme de photosynthèse « classique » (fixation du Carbon atmosphérique sous forme de sucre tri carboné)

C4 = forme de photosynthèse « différée » (fixation du Carbon atmosphérique emmagasinée au préalable)

ET = évapotranspiration

F = fraction du spectre acceptée

ha = hectare

HI = « Harvest Index » indice de récolte

kg = kilogramme

LAI = « Leaf Area Index » indice de surface foliaire

LER = « Land Equivalent Ratio » surface équivalent en monoculture

MEY = « Maize Equivalent Yield » rendement équivalent en maïs

RUE = « Radiation Use Efficiency » efficacité de l'utilisation des radiations solaires

RVI = « Replacement Value of Intercropping »

RVT = « Relative Value Totale » = IER (= « Income Equivalent Ratio »)

UE = Unité Expérimentale

WUE = « water use efficiency » efficacité de l'utilisation de l'eau

## Introduction

Les systèmes agricoles en polyculture étaient la norme jusqu'à l'industrialisation de l'agriculture. Aujourd'hui, ils sont pratiqués largement par les agriculteurs vivriers des zones tropicales, et intéressent de plus en plus les producteurs occidentaux.

Vandermeer (1989), classe les polycultures en 3 groupes : les « cultures mixtes », avec plusieurs espèces en simultanée sur des parcelles rapprochées ; les « cultures séquentielles », ou rotation de cultures, lorsque plusieurs espèces se succèdent sur une même parcelle ; et les « cultures intercalaires », ou cultures associées, avec plusieurs espèces en simultanée sur une même parcelle. Ce dernier groupe est celui qui nous intéressera dans cette étude. Cet auteur sépare les cultures associées en 3 catégories, qui seront reprises par de nombreux autres auteurs : les « mixed-intercropping », qui sont semées à la volée ; « relay-intercropping », lorsque les 2 cultures se superposent dans la durée, mais ne sont pas semées ni récoltées en même temps ; et la « row intercropping » lorsque les 2 cultures sont semées en lignes alternées.

Ces systèmes en culture associées rapprochent les différentes espèces suffisamment pour induire des phénomènes d'interaction interspécifique. Il est prouvé que ces interactions peuvent induire des augmentations ou diminutions du rendement (Altieri and Nicholls 2004). La complexité de ces méthodes réside dans la précision supérieure du travail au champ, ainsi que dans la planification de l'assolement, qui consiste à minimiser la compétition interspécifique et à maximiser leurs complémentarité (Altieri and Nicholls 2004). Le nombre d'espèces associées est corrélé positivement avec la complexité du système. Cependant, une bonne maîtrise de l'association de cultures permet de diminuer les invasions de parasites et d'adventices, en utilisant plus efficacement les ressources nutritives du sol, ce qui garantit une meilleure production par unité de surface (Smith and Mcsorley 1994).

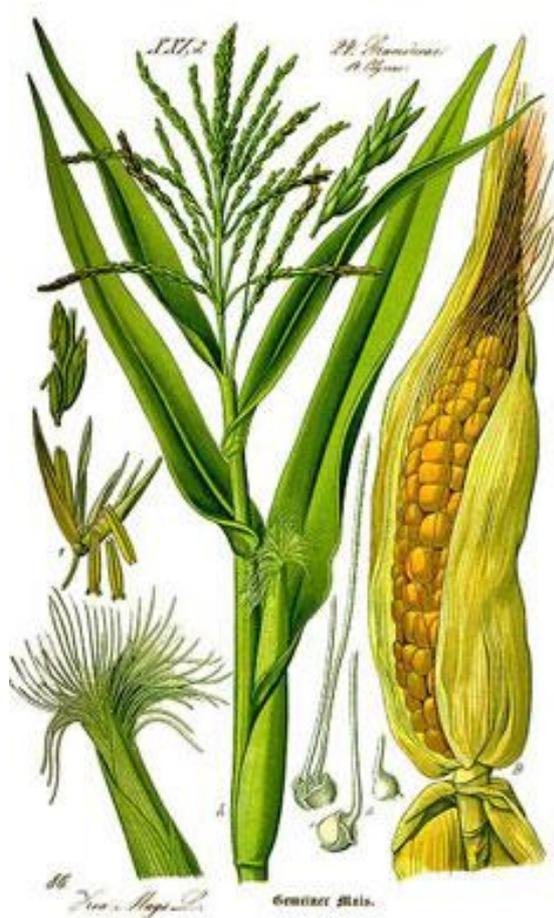
De tels avantages agronomiques permettent de s'affranchir de nombreux intrants et traitements phytosanitaires, ce qui fait des cultures associées un système idéal pour les agriculteurs avec de faibles moyens économiques. De plus, une diversification de la production permet d'une part, de mieux répartir les risques climatiques, sanitaires ou économiques (en cas de mauvais rendement d'une culture, ou de faible valorisation d'un produit, il est encore possible de se rattraper sur les autres). Et d'autre part, de limiter le besoin de mécanisation, en cultivant un assortiment de produits constituant une alimentation équilibrée, sur des surfaces réduites (Vandermeer 1989). Voilà pourquoi l'association de culture est traditionnellement pratiquée par les agriculteurs vivriers, et compte la majorité de ses adeptes dans les zones tropicales et subtropicales. Le leader mondial de la culture associée est le Malawi, avec 94% de ses terres assolées cultivées

en association, et le pays tropical le moins utilisateur de ces systèmes est l'Inde avec 17% (Altieri and Nicholls 2004). Les produits de ces exploitations varient beaucoup en fonction des habitudes alimentaires des différentes régions, mais elles contiennent toujours au moins une Fabacée (Soja, Niébé, Haricot, ...), fixatrice d'azote et source de protéines, et d'un féculent (Maïs, Manioc, Sorgho, patate douce, ...) comme source d'énergie.

Depuis les années 90, l'agriculture biologique a suivi une expansion considérable en Occident, suite aux prises de conscience des dégâts environnementaux occasionnés par l'agriculture industrielle. En Suisse, le nombre d'exploitations respectant l'Ordonnance sur l'agriculture biologique (RS 910.18) est passé de 900 en 1990 à 7'284 en 2019, ce qui représente plus de 15% de la surface agricole utile (OFS 2020), 2<sup>e</sup> pays d'Europe derrière l'Autriche (24%). Un tel essor a poussé le développement des cultures associées, afin de permettre une lutte contre les adventices et une meilleure gestion des ressources nutritives du sol, tout en se passant d'herbicides et d'intrants de synthèse (proscrits par l'ordonnance bio). Néanmoins, la taille des exploitations moyennes suisses de 21ha en 2019 (OFS 2020) impose une adaptation de ces associations, originellement prévues pour des surfaces de moins d'un hectare. Des organismes de recherches agronomiques tels que Agridea et le FiBL ont donc réalisés de nombreux essais pour adapter ces systèmes au marché agricole suisse. Aujourd'hui, les cultures associées sont utilisées en grandes cultures essentiellement pour la production de fourrage et d'ensilage, car elles ne nécessitent pas d'apports d'azote, et permettent de s'abstenir d'utiliser du soja importé comme source de protéines. Les associations fourragères les plus connues en Suisse sont l'orge associé avec le pois protéagineux, et l'avoine associée à la féverole (Kunkler and Clerc 2013).

## 1. Intérêts de l'association « maïs-haricot »

Le maïs (*Zea mays* L.) (Figure 1), plante originaire d'Amérique centrale, fut découverte par Christophe Colomb à la fin du XVe siècle et est aujourd'hui la céréale la plus cultivée dans le monde (BASF SE 2019). Il est cultivé essentiellement comme fourrage et comme source d'alimentation humaine principale (doux ou en farine) dans de nombreux pays d'Amérique et d'Afrique, en plus d'être utilisé pour la fabrication de biocarburants (issus de sa fermentation), ainsi que pour la fabrication de plastique biodégradable et dans l'industrie papetière. C'est son potentiel d'accumulation de glucide par unité de surface et de temps, le plus élevé de tout le règne végétal, qui en fait une culture essentielle (Thobatsi 2009).



**Figure 1: Maïs (*Zea mays*) image tirée du site Plant For A Future**

Le haricot (*Phaseolus spp.*) est une culture ancestrale qui a débuté il y a environ 9000 ans dans la région des Andes. Découvert lui aussi par Christophe Colomb, il s'est rependu aux 4 coins du monde depuis le début du XVIe siècle, jusqu'à représenter, aujourd'hui, un tiers de la production mondiale de légumineuses (FAO 2016). Il existe 5 espèces de haricots cultivées, dont 2 sont produites en occident : *Phaseolus vulgaris* L. et *Phaseolus coccineus* L. (Figure 2), et des centaines de variétés. Cette culture possède

Étude de l'association de cultures maïs-haricot comme moyen de gestion des adventices, et impacts sur les rendements.

une teneur élevée en protéines, issue de sa capacité à fixer l'azote atmosphérique, grâce à la symbiose qu'elle forme avec le genre bactérien *Rhizobium spp.* De plus elle possède

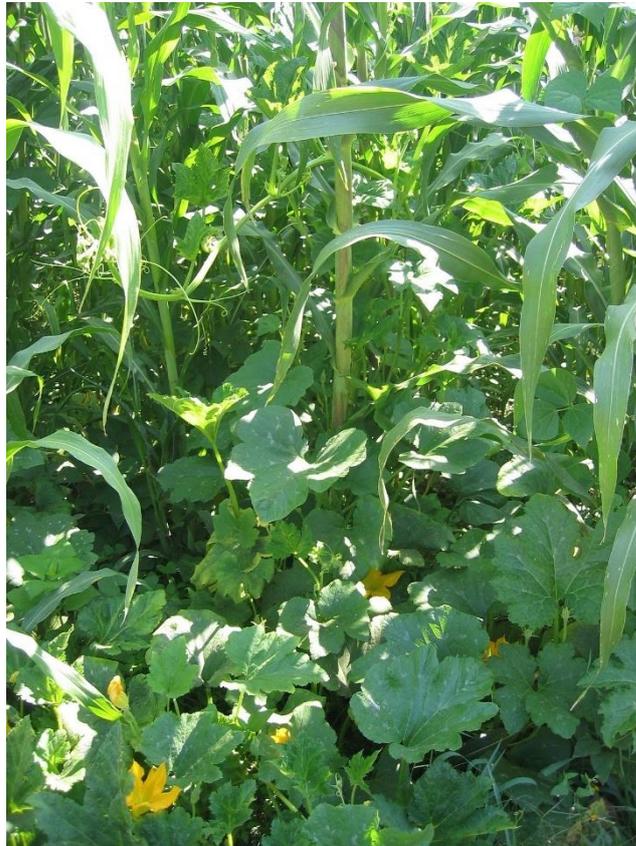


**Figure 2: Phaseolus vulgaris, issu du site Biopix (à gauche), et Phaseolus coccineus issu du site Wikipédia (à droite)**

un puissant système racinaire avec un pouvoir de solubilisation du phosphore important. Toutes ces qualités en font, comme de nombreuses Fabacées, une culture idéale pour réaliser des associations.

Maïs (*Zea mays L.*) et Haricot (*Phaseolus spp.*) sont deux des trois sœurs qui composent l'association la plus vieille de l'humanité, pratiquée originellement par les populations andines il y a 9000 ans. La « Milpa » ou « culture des trois sœurs » associe le maïs au haricot et à la courge, afin de créer un agrosystème efficace et résilient (Image 1). Le principe est le suivant : le maïs fournit l'apport alimentaire principal de glucides et sert de tuteurs pour le haricot. Ce dernier apporte dans le système de l'azote par fixation atmosphérique, ainsi que du phosphore par prospection des sources difficilement accessibles du sol. De plus, il est la source alimentaire principale de protéines, et grimpe sur le maïs, ce qui augmente la densité de la culture. La courge, troisième sœur, rampe au sol, ce qui limite les pertes en eau et augmente encore la densité de l'agrosystème. Cette densité importante obstrue la lumière au sol et réduit considérablement la concurrence avec les adventices. Elle modifie également l'aspect visuel et olfactif de la

culture, en plus d'attirer une plus grande quantité d'auxiliaire (Perrin 1976). Ces paramètres engendrent une diminution des dégâts causés par les arthropodes herbivores, ainsi que par les maladies dont ils sont les vecteurs.



**Image 1: l'association des 3 sœurs, ou "Milpa", issu du site Wikipédia**

La simplification de la Milpa, avec uniquement maïs et haricot devient aujourd'hui une alternative intéressante aux monocultures, en raison des économies d'intrants azotés qu'elle permet, et de sa capacité à contrôler les dommages des parasites et la concurrence des adventices. Cette association est pratiquée en suisse, en grandes cultures, pour la production de fourrage et d'ensilage à teneur élevée en protéine, par les agriculteurs souhaitant s'émanciper des importations de soja. De plus, la production de protéines végétales locales, qui augmente la souveraineté alimentaire d'une région en réduisant la part de produits animaux consommés, est en accord avec la tendance au développement durable actuelle. En Autriche (Styrie) l'association entre maïs et haricot est déjà pratiquée pour l'alimentation humaine, afin de fournir une source locale de protéines alternatives aux produits carnés. La ferme de Mapraz, à Thônex (GE), a déjà réalisé 2 études dans ce but (Piccot 2020) & (Piccot 2021), financée par le fond de développement durable de COOP, et elle accueille cet essai en 2021. L'essai est réalisé en « row-intercropping » (Vandermeer 1989), et étudié pour son aspect phytosanitaire

dans cette étude, ainsi que pour son aspect physiologique dans l'étude de Timothé Sonzogni.

## **1.1 Utilisation des ressources**

La compétition pour les ressources est un phénomène inhérent à l'agriculture, le simple fait de cultiver plusieurs plantes en même temps sur la même parcelle induisent une concurrence entre elles. En monoculture cette concurrence est la plus forte lorsque la culture atteint son stade phénologique le plus consommateur. Par exemple, pour le maïs, les besoins en eau sont les plus importants au stade de la floraison. Il est donc impossible pour les agriculteurs d'avoir une parcelle dont l'utilisation des ressources est stable tout au long de la culture, car le stade de toutes les plantes est synchronisé. Pour les cultures associées, ce stade le plus consommateur varie entre les différentes plantes de l'association. Selon (Willey 1990), ces variations peuvent être dans le temps ou dans l'espace. C'est-à-dire que les besoins des différentes plantes sont plus importants à différentes périodes, ou que le prélèvement des ressources se fait dans différentes sources (racines pivotantes vs racines fasciculées, sources de minéraux plus ou moins accessibles). De plus, certaines plantes cultivées en association peuvent fournir des ressources à leurs voisines (fixation de l'azote atmosphérique, support), c'est ce qu'on appelle la complémentarité. En cultivant plusieurs espèces en association, on cherche à maximiser les phénomènes de complémentarité et à minimiser la concurrence, afin d'optimiser l'utilisation des ressources présentes (Altieri and Nicholls 2004). Pour conserver une utilisation des ressources optimales le plus longtemps possible, il est nécessaire de gérer intelligemment la culture, en jouant avec les intrants et les dates de semis/plantation (Liebenberg 1997).

### **1.1.1 Eau**

L'utilisation de l'eau est un facteur agronomique crucial ; aussi bien pour limiter les coûts d'irrigation, ou les pertes de rendement lorsque cette dernière est limitée ; que pour réduire les problèmes d'érosion, qui retirent des éléments fertilisants et polluent les eaux de surface. C'est un facteur d'autant plus important actuellement, car le dérèglement climatique a tendance à augmenter les problèmes liés à l'érosion. Selon (Willey 1990), les associations de cultures peuvent améliorer l'utilisation de l'eau de différentes manières :

- 1 Augmentation de la disponibilité de l'eau
- 2 Augmentation de l'évapotranspiration
- 3 Augmentation de la part de transpiration

Étude de l'association de cultures maïs-haricot comme moyen de gestion des adventices, et impacts sur les rendements.

#### 4 Amélioration de la conversion

#### 5 Augmentation de l'indice de récolte

Dans le premier cas, c'est l'indice de surface foliaire (LAI) qui influence la disponibilité de l'eau. Des valeurs de LAI élevées, soit une densité élevée de la canopée, induisent une couverture du sol plus efficace, ce qui réduit les dégâts de l'impact des gouttes de pluies et empêche l'apparition de croute de battance. Ainsi l'infiltration de l'eau est facilitée et les pertes par ruissèlement et percolation sont amoindries, en plus de limiter grandement l'érosion (Liebenberg 1997). L'indice de surface foliaire (LAI) est augmenté en association de cultures, et il l'est de façon optimale lorsque qu'une des cultures a un développement plus rapide que l'autre (Willey 1990). Pour le maïs, le LAI n'est pas particulièrement affecté par la culture en association avec le haricot. Dans une étude sur 3 ans, Oljaca et al. (2000) ont obtenu une valeur maximale de 4.00 en culture pure, contre 4.00 en culture associée avec du haricot. Cependant, dans cette même étude, ils démontrent que le haricot a systématiquement un indice de surface foliaire supérieur à la monoculture lorsqu'il est associé avec du maïs.

L'évapotranspiration de la culture peut être augmentée par une meilleure efficacité de l'utilisation de l'eau (WUE). Les cultures associées favorisent cette bonne efficacité, grâce à leurs systèmes racinaires plurispécifiques, qui prospectent un plus grand volume du sol (Willey 1990). À travers son étude, Liebenberg (1997) démontre que la quantité d'eau captée par la culture associée de maïs et haricot est plus importante que la monoculture, lorsqu'elles sont semées à densité équivalentes. La WUE est équivalente au ratio entre la biomasse produite, et l'ET de la culture additionnée aux pertes en eau de la parcelle (de Pascale et al. 2011), elle est donc augmentée par une captation plus importante d'eau. Cette augmentation peut varier entre 18% et 99% d'efficacité supplémentaire, dans différents systèmes associés (Liebenberg 1997), elle représente donc un accroissement de l'ET non négligeable. Néanmoins, cette meilleure efficacité peut s'avérer à double tranchant, car en cas de manque d'eau une culture qui capte plus d'eau se heurtera plus vite au stress hydrique. Pour l'association entre maïs et fabacées, leur utilisation de l'eau est équivalente, ce qui permet une bonne WUE lorsqu'il n'y a pas de stress hydrique. Selon Liebenberg (1997), le maïs associé au niébé a une utilisation de l'eau plus efficace que les cultures pures, si l'alimentation hydrique n'est pas un facteur limitant.

Si la pluri spécificité du système racinaire engendre plus d'évapotranspiration, celle des organes aériens permet d'augmenter la part de transpiration des cultures. En effet, lorsque la canopée de la culture est plus dense (LAI plus élevé) le sol est non seulement protégé de l'impact des gouttes de pluies, mais il est également protégé des radiations solaires. La couverture foliaire réduit ainsi le réchauffement du sol, et induit une baisse

de l'évaporation des ressources hydriques du sol. Selon Willey (1990), un tel phénomène est systématiquement causé par l'augmentation du LAI, et il permet chez toutes les espèces, une augmentation de la part d'eau transpirée, du total d'ET.

La conversion de l'eau transpirée en glucides, via la photosynthèse, peut également être optimisée par les cultures associées, ce qui permet une croissance plus importante sans utiliser plus d'eau. Willey (1990) affirme que les plantes en C3 font une meilleure conversion lorsque l'intensité lumineuse est légèrement atténuée, comme elle l'est en condition de semi-ombrage constituée par une canopée plus dense. Il ajoute que, « l'effet abris » procuré par cet indice foliaire plus important, augmente également l'efficacité de la conversion chez toutes les plantes, en les protégeant des turbulences d'air. Le maïs étant une plante C4, elle ne bénéficiera que de l'effet abri, et pourrait être pénalisée par l'ombrage que lui fait le haricot. Cependant le haricot étant C3, il verra l'efficacité sa conversion augmenter.

Lorsque l'eau vient à manquer, les systèmes associés, plus performants dans l'utilisation de l'eau, se retrouvent plus vite en état de stress que les monocultures. Leur forte captation de l'eau et la concurrence interspécifique en sont la cause, ce phénomène fait baisser la production de matière sèche (Liebenberg 1997). Cependant, chez les céréales et les fabacées, le stress hydrique induit une concentration des ressources dans les organes reproducteurs, qui sont en l'occurrence le fruit de la récolte. Le manque d'eau fait grimper l'indice de récolte (HI), qui est le rapport entre la part récoltée et toute la biomasse produite, en pourcents (%). Selon Willey (1990) l'indice de récolte d'une culture associée originellement de 14% peut être augmentée jusqu'à 93% avec un stress hydrique. Si le manque d'eau intervient suffisamment tard pour que la culture ait produit suffisamment de biomasse, il peut contribuer à augmenter le rendement.

### **1.1.2 Ressources du sol**

L'efficacité de l'utilisation des ressources nutritives du sol, peut être améliorée par les cultures associées, grâce à la répartition temporelle des pointes de besoins, entre les différentes espèces, et à la répartition spatiale des prélèvements (Willey 1990).

L'azote est le nutriment le plus important pour les cultures, en raison des différences de croissance importantes qu'il engendre. Les fabacées sont capables de fixer l'azote atmosphérique, à l'aide des bactéries *Rhizobium spp.* présentes dans les nodosités de leurs racines. Malheureusement le transfert de l'azote, fraîchement fixé par une fabacée, à la culture qui lui est associée, n'a été observé qu'en laboratoire (Liebenberg 1997). Ce phénomène n'a pas été constaté en essai au champ, et est peu probable. La seule voie de transfert possible intervient après la mort de la plante fixatrice d'azote, lors de sa décomposition (Heichel and Henjum 1991). Ce transfert ne peut pas bénéficier à la

culture qui est associée à la fabacée, à moins qu'elle ne reste en place bien après la mort de cette dernière. Mais l'azote fixé fertilisera la culture suivante, et dans de moindres mesures, celle encore d'après. C'est pourquoi les agriculteurs bio, pour qui les apports d'azote exclusivement organique coûtent cher, intègrent systématiquement des fabacées dans leurs rotations de cultures. Cependant, les cultures associées à des fabacées obtiennent des rendements équivalents avec moins d'apports d'azote, même s'il ne provient pas directement de la fixation atmosphérique. Ce phénomène a été constaté à plusieurs reprises dans des cultures de maïs associé avec une fabacée, et est dû à la limitation des adventices par la fabacée. Cette dernière fixant sa propre consommation d'azote, elle laisse la part qu'aurait consommé les adventices pour le maïs. Wolley et Davis (1991) l'ont constaté dans des cultures de maïs associé avec du soja, où les mêmes rendements étaient produits avec moins d'apport d'azote. En outre, la fertilisation azotée des cultures associées a tendance à réduire les rendements des fabacées en association, en favorisant la culture non fixatrice, qui devient trop compétitive pour les autres ressources. C'est le cas pour l'association maïs-haricot, dont le rendement est réduit avec une fertilisation azotée, à cause de l'ombrage provoqué par la forte croissance du maïs (Wolley et Davis 1991). Certaines associations ne sont intéressantes en termes de rendement que si l'azote est limitant, afin de garantir une bonne compétitivité des 2 plantes (Chang and Shibles 1985).

Pour les autres macronutriments, la répartition temporelle et spatiale des différentes espèces d'une culture associée, permettent également une cohabitation entre elles. La concurrence interspécifique pour le phosphore et le potassium est minime en raison des quantités réduites que les plantes prélèvent, par rapport aux sources que le sol contient. Cette concurrence existe tout de même, mais elle n'est visible, par des signes de manques, qu'à très forte densité (Wolley et Davis 1991). Une fertilisation au phosphore peut gonfler les rendements de haricot, lorsqu'il est associé au maïs, mais il faut prendre des précautions, car selon Chang and Shibles (1985), un tel apport a modifié l'équilibre dans l'association entre maïs et niébé, où le maïs a pris le dessus et baissé le rendement du niébé.

### **1.1.3 Radiations solaires**

La captation des radiations solaires est un facteur clé dans la concurrence entre les plantes d'un système, celle qui réussit à capter le mieux bénéficiera de la meilleure croissance. C'est également le facteur pour lequel les cultures associées entrent le plus en concurrence, car c'est une ressource qui n'est pas stockable, la concurrence se fait donc sans relâche. Selon Willey (1990), une compétition pour la lumière dans un système associé peut booster la croissance de chacune des cultures, si leurs

compétitivités sont équivalentes. La captation des radiations solaires se fait par l'éclairage des feuilles, et est corrélée positivement à l'importance de l'indice de surface foliaire (LAI). Dans les cultures associées, qui possèdent généralement un LAI plus élevé que les cultures pures, la captation est généralement plus efficace. Selon Tsubo et al. (2001), l'utilisation des radiations solaires par une culture peut être caractérisée par 3 indices : la fraction du spectre acceptée (F), l'efficacité de l'utilisation des radiations (RUE) et l'indice de récolte (HI). Ils affirment que dans le cas d'une association entre maïs et haricot par rapport aux cultures pures : F est plus important pour l'association, en raison des différents organes foliaires, qui acceptent des fractions légèrement différentes du spectre ; RUE est supérieur pour le maïs en culture pure par rapport au maïs associé, mais si on ajoute à ce dernier le RUE du haricot associé la différence est négligeable ; HI n'est pas sensiblement différent entre les différents systèmes. L'association maïs-haricot permet donc une meilleure utilisation des radiations solaires.

## **1.2 Productivité**

Bien qu'il existe de nombreux facteurs qui influencent l'attrait des producteurs pour un système agricole : comme la gestion phytosanitaire des parcelles, la protection des écosystèmes, la séduction des consommateurs, et bien d'autres. C'est principalement la productivité qui est évaluée pour établir l'intérêt d'un tel système, car elle détermine la capacité de ce dernier à produire efficacement des aliments pour la population, et surtout un revenu décent pour les producteurs.

La productivité s'exprime, entre autres, à travers le rendement, car ce dernier dénombre directement le produit destiné à la vente ou à la consommation. Mais la rentabilité économique du système, ainsi que la quantité de travail pour le producteur, sont non négligeables. Selon Fukai et Midmore (1993), l'avis des paysans est le meilleur moyen d'évaluer l'efficacité d'un système agricole.

Dans le cas de l'association maïs-haricot, la méthode destinée à l'alimentation humaine est encore trop novatrice pour avoir l'avis des producteurs. Cependant, Clair Muller (2019) dans son article pour *Terre & Nature*, rapporte la satisfaction de Patrick Huber, un éleveur Argovien, pratiquant cette association pour nourrir son bétail.

### **1.2.1 Rendements**

Le rendement est la valeur chiffrable la plus intéressante pour l'établissement d'un système de culture, dans un contexte suisse, où les agriculteurs produisent une marchandise pour gagner leur vie, et ne sont pas des producteurs vivriers.

Il est généralement exprimé en t/ha, afin de montrer la quantité de produit commercialisable récoltée en fonction de la surface utilisée. Cette valeur, donnée par espèce, est généralement inférieure en culture associée par rapport à la culture pure. Bien que certaines études rapportent des rendements similaires pour une des cultures, en association dans un système céréales-fabacées, la deuxième culture se trouve alors diminuée. Choudhary et Choudhury (2018) ont observé, dans une étude sur 2 ans avec 6 modalités d'association, maïs-soja et maïs-arachides à différentes densités, plusieurs traitements produisant un rendement équivalent à chacune des cultures pures. Le maïs-soja semé en rang 1:2 a produit un rendement de maïs statistiquement comparable à la culture pure, les 2 années, mais son rendement en soja était largement inférieure à celui de la monoculture. Ils ont constaté le phénomène inverse avec le maïs-soja semé en rang 1:5, qui a produit un rendement en soja légèrement inférieur à la monoculture la première année, puis équivalent la deuxième année. Mais encore une fois le rendement en maïs de cette association était largement inférieur à celui de la culture pure. Ces résultats sont normaux, car on ne peut pas espérer produire plus sur une surface que sur le double de cette dernière, même si l'association est optimale. Cependant, si on prend en compte le rendement de toutes les cultures qui composent l'association, avec le LER, l'avantage de cette dernière apparaît plus clairement.

Le «Land Equivalent Ratio» (LER) offre un indice de l'efficacité d'utilisation du terrain, qui représente la surface nécessaire en monoculture, pour produire l'équivalent de chaque culture qui composent l'association (Mead and Willey 1980). Il se calcule en divisant le rendement de chaque culture associée par celui de la monoculture correspondante, puis en additionnant les ratios obtenus :

$$LER = \frac{Y_{culture\ associée1}}{Y_{monoculture1}} + \frac{Y_{culture\ associée2}}{Y_{monoculture2}}$$

Où Y exprime le rendement des différentes cultures, et dans les différents systèmes. Il est important que la surface utilisée pour la culture associée soit équivalente à chacune des surfaces exploitées en monoculture, et qu'elles soient toutes conduites de la même manière. Lorsque le LER est supérieur à 1, il exprime une utilisation plus efficace de la parcelle et de ses ressources. Comme l'efficacité d'utilisation des ressources est généralement meilleure en culture associée, la plupart des cultures associées donnent un LER supérieur à 1 (Thobatsi 2009). Pour l'association maïs-haricot, Liebenberg (1997) a testé l'association entre 2 cultivars de maïs et 2 cultivars de haricots, sur 4 sites différents, soit 13 essais, et n'a observé que 3 de leurs LER inférieurs à 1 (0,96 ; 0,97 ; 0,99). Les 10 autres associations ont obtenu un LER supérieur, avec comme meilleure valeur 1,90 pour l'association entre le cultivar de maïs KEP, et celui de haricot Umlazi. Néanmoins, cet indice n'est pas représentatif dans certains cas :

1. Lorsqu'une des cultures de l'association, plus précoce, est récoltée avant la seconde.
2. Lorsqu'une seule des cultures de l'association n'a de valeur pour le producteur, l'autre étant une « culture compagne », bénéfique à la première.

Dans le premier cas, la parcelle n'est occupée que par la culture longue pendant une période, le terrain n'est donc pas utilisé en association tout au long de la culture. Sur la surface équivalente en monoculture, calculée avec le LER, une prochaine culture pourrait déjà être semée. C'est pourquoi l'utilisation du terrain n'est pas comparable de cette façon, il faudrait utiliser un indice prenant en compte le facteur temps, l'ATER (Thobatsi 2009).

Dans le second cas, si une seule des cultures de l'association n'a de valeur, comme dans le cas d'un colza associé, avec une « plante compagne » destinée à mourir par le gel et être décomposée sur place (Terres Inovia 2018), l'agriculteur n'est pas intéressé par le rendement de cette plante compagne. Dans ce cas il faut se concentrer sur le rendement de la culture principale.

Dans le cadre de cette étude, qui cherche à tester l'efficacité de l'association maïs-haricot, pour la consommation humaine, la récolte se fera simultanément et les 2 produits nous intéressent. Le LER convient donc bien pour évaluer l'efficacité de notre essai. Cependant, un biais peut subvenir lorsque la densité des cultures associées est supérieure à celle des monocultures (Thobatsi 2009).

Pour quantifier l'efficacité de l'utilisation du terrain sous forme de rendement, Choudhary et Choudhury (2018) ont converti les rendements des associations de maïs-fabacée en MEY (rendement équivalent en maïs). Le MEY s'obtient en additionnant au rendement du maïs associé, le rendement de la fabacée associée multipliée par son prix sur le marché et divisé par celui du maïs :

$$MEY = \text{rendement maïs associé} + \frac{\text{rendement fabacée associée} * \text{prix fabacée}}{\text{prix maïs}}$$

Toutes les 6 associations de cette étude, qui ont toutes des résultats de LER supérieurs à 1, possèdent des MEY supérieurs aux rendements de maïs en culture pure : 4110 kg/ha la première année et 3887 kg/ha la seconde, pour la monoculture de maïs, alors que le MEY le plus petit est de 4273 kg/ha, et le plus grand est de 6712 kg/ha. Cet indice permet une comparaison facile avec les rendements produits en monoculture de maïs, et donne un aperçu de la rentabilité de l'association.

### 1.2.2 Production de biomasse

Actuellement, avec l'augmentation des risques météorologiques engendrés par le dérèglement climatique, les cultures associées apportent une solution aux problèmes causés aux monocultures. Cette alternative permet, entre autre, de limiter l'érosion et la pollution des eaux de surface due à la lixiviation des nitrates et pesticides. Cette protection est due à une production de biomasse, supérieure par les cultures associées que par les monocultures, qui réduit l'impact des gouttes de pluies contre le sol.

Cette biomasse supplémentaire est également un indice d'une meilleure utilisation des ressources, qui ne seront pas lixiviées ni consommées par des adventices. Cet indice représente également la réduction des adventices par l'association de cultures. De plus, toute la biomasse qui n'est pas du grain est retournée au sol, et transfère ainsi une part d'azote atmosphérique à la prochaine culture (Heichel and Henjum 1991), en plus du carbone qui nourrit la microfaune du sol.

Dans leur étude, Choudhary et Choudhury (2018) ont observé une production de biomasse supérieure dans 5 des 6 associations testées, par rapport aux monocultures de chaque espèce.

### 1.2.3 Rentabilité

Le calcul de la rentabilité d'une culture associée est un facteur incontournable à aborder pour promouvoir un tel système auprès des producteurs. Si le rendement, l'efficacité de l'utilisation des ressources et le confort du travail, décrivent la qualité du système agricole, sa rentabilité exprime la valeur économique qui lui est prêtée par la société.

L'indice LER, qui décrit globalement l'amélioration de productivité des cultures associées, ne décrivant pas la valeur du produit de l'association, Vandermeer (1989) a proposé dans son étude, l'indice IER (Income Equivalent Ratio) ou RVT (Relative Value Totale). Il se calcule en additionnant le produit entre le rendement de la première culture associée et son prix, avec celui de la 2<sup>e</sup> culture, puis en divisant le tout par le produit entre le rendement de la culture principale cultivée en monoculture, et son prix.

$$IER = RVT = \frac{aP1 + bP2}{aM1}$$

Où *a* et *b* sont les prix des cultures 1 et 2, *P1* et *P2* sont les rendements respectifs de ces 2 cultures en association, et *M1* le rendement de la culture 1 en culture pure. Il faut noter que la culture 1 doit être celle qui est la plus rentable en monoculture. Cette méthode donne un résultat supérieur à 1 si l'association est plus rentable que la monoculture, et inférieure à 1 si elle l'est moins. Cet indice ne prend cependant pas en compte les économies faites sur les intrants, en association par rapport à la monoculture. Pour combler cette lacune, Moseley (1994) propose le RVI (Replacement Value of

Étude de l'association de cultures maïs-haricot comme moyen de gestion des adventices, et impacts sur les rendements.

Intercropping), qui prend en compte le coût des intrants en monoculture (c), en le soustrayant au produit du rendement de la monoculture et du prix de cette dernière.

$$RVI = \frac{aP1 + bP2}{aM1 - c}$$

La prise en compte de cette économie est nécessaire pour mieux visualiser les avantages des cultures associées, car elles visent justement à faire diminuer les intrants sans impacter violemment le rendement. Cependant, dans les études qui comparent les cultures associées aux cultures pures, les mêmes intrants sont apportés à chaque système, le RVI ne pourrait donc chiffrer l'économie que si on comparait une culture associée sans intrants à une culture pure normalement fertilisée et traitée. Pour cette raison, Dania et al. (2014) ont obtenu un RVI équivalent au RVT, dans leur étude sur l'association entre maïs et pois d'Angole. Le RVT en revanche est intéressant dans ce genre d'étude, un résultat de 1,88 a été observé, ce qui reflète un revenu de 188% lors d'une telle association. Pour l'association entre haricot et maïs, des résultats compris entre 1,65 et 1,99 ont été recueilli au Kenya, pour le RVI (Songa et al. 2007).

On peut reprocher à ces indices de ne pas prendre en compte l'effet marketing qu'ont les cultures associées sur les consommateurs. Bien que difficile à chiffrer, il ne faut pas négliger la capacité des consommateurs à payer plus cher un produit respectueux de l'environnement. La valeur des produits provenant des cultures associées est donc peut-être minimisée dans ces études, car le RVI considère qu'ils sont vendus au même prix que ceux issus des monocultures.

### 1.3 Phytosanitaires

Le contrôle phytosanitaire des parcelles est une part importante du travail des agriculteurs, qui déterminera directement la qualité de la production et l'importance du rendement. De plus, ce contrôle représente la part la plus importante, en termes de temps, des travaux agricoles. La gestion proposée en association de culture consiste à favoriser la bonne implantation d'un système concurrentiel et résilient, afin qu'il soit capable de repousser de lui-même les invasions de parasites, d'adventices et de pathogènes. Cette méthode s'appuie sur les fondements de l'écologie, selon quoi, un système diversifié est moins sensible aux invasions d'organismes externes, ni à la prolifération d'un organisme présent (Lithourgidis et al. 2011). Ainsi, la biodiversité des cultures, mais également des micro-organismes du sol, agissent pour empêcher les pertes de rendement. Cette méthode à l'avantage d'être moins onéreuse en temps et en argent, que le contrôle phytosanitaire traditionnel.

### 1.3.1 Adventices

La gestion des adventices en grande culture est un facteur sensible, car elle nécessite un travail régulier et conséquent, et encore plus en culture bio, en raison de l'interdiction d'utiliser des herbicides. En cas d'invasion les pertes peuvent rapidement devenir importantes. Les principales méthodes de lutte sont le labour et le sarclage, ainsi que la rotation de cultures. La rotation permet de contrôler le stock semencier de la parcelle en alternant les cultures facilement envahies, comme le blé ou le maïs, avec des cultures plus fortement concurrentielles avec les adventices, comme les prairies. Le travail du sol tue une partie des adventices et retarde la croissance des autres, en mettant à nu leurs racines. L'association de culture est une méthode additionnelle à ces dernières, elle permet de contrôler la levée et la croissance des adventices, en s'accaparant les ressources nécessaires à la croissance de ces dernières, ou en les tuant à l'aide de composés allélopathiques (Lithourgidis et al. 2011).

L'allélopathie est définie comme étant la libération, par une plante, de composés chimiques influençant bénéfiquement ou négativement d'autres plantes. Ces composés sont de diverses formes chimiques, essentiellement des composés phénoliques, des flavonoïdes, des alcaloïdes, des terpènes, et bien d'autres (Thobatsi 2009). Ils sont synthétisés dans les feuilles, les racines ou même les organes de reproductions de la plantes, et sont exportés par exsudats racinaires, volatilisation, ou décomposition des résidus de culture puis par lixiviation, jusqu'aux plantes avoisinantes (Thobatsi 2009). Ils sont considérés comme métabolites secondaires, car ils ne jouent aucun rôle dans l'accomplissement des fonctions primaires de la plante. Ces métabolites affectent le plus souvent le système racinaire des plantes, inhibant ainsi la croissance et pouvant causer la mort, mais elles peuvent également stopper la germination. De nombreux composés allélopathiques sont métabolisés par les plants de maïs, et peuvent avoir un effet sur les plantes alentours (Jabran K. 2017). Certains composés fréquemment produit par les jeunes pousses de maïs (les benzoxazolinones), inhibent l'activité des enzymes, la croissance des racines, et la germination des graines des autres plantes (Kato-Noguchi 2008). L'inhibition allélopathique du maïs peut perturber la germination et la croissance des okras (*Abelmoschus esculentus*), des laitues (*Lactuca sativa L.*), de nombreuses adventices, et même des autres plants de maïs (Jabran K. 2017). Selon cet auteur, l'efficacité de l'allélopathie du maïs pourrait être améliorée par une sélection de cultivars spécialisés. Cette étude se concentrera principalement sur l'effet de concurrence pour les ressources, en raison d'une plus grande simplicité à être observée que les phénomènes allélopathiques, cependant leurs effets ne doivent pas être ignorés.

L'autre moyen, plus courant, qui permet aux cultures associées de contrôler la colonisation par les adventices, est la concurrence directe pour les ressources. Cette concurrence est induite par la capacité d'une association de cultures à couvrir plus vite le sol, et à la durée de couverture (Olorunmaiye 2010). En effet, la lumière est la ressource la plus facile à accaparer, pour une culture associée. Plus les espèces de l'association sont agressives pour la captation de lumière, et poussent rapidement, plus elles contrôleront efficacement les populations d'adventices. Ce contrôle induit généralement une hausse du rendement de la culture. Lithourgidis et al. (2011) recensent plusieurs associations de cultures qui ont un effet significatif sur le contrôle des adventices : Le sorgho-niébé obtient une meilleur suppression des adventices par l'appropriation de leurs ressources, ce qui induit un meilleur rendement ; le maïs-manioc avec une fabacée obtient un LAI supérieur aux cultures pures, ce qui entraîne une diminution de la densité des adventices ; pareil pour le maïs-fabacée, qui avec un LAI plus grand, obtient des valeurs inférieures de densité et de biomasse des adventices. Les auteurs en concluent que, généralement, les systèmes plus diversifiés sont moins propices à être perturbés par un envahisseur. Le LAI est un bon moyen d'observer l'efficacité de la captation lumineuse d'une culture, il se calcule par le rapport entre la surface des feuilles d'une zone de la canopée, et la surface de cette zone. Mais il peut également être mesuré à l'aide d'appareils qui analysent le spectre lumineux en dessous de la canopée. Grangeon (2006), exprime une mesure pratique du LAI en utilisant un appareil photo numérique à haute définition (8 millions de pixels) avec un objectif Fisheye converger, placé sous le couvert. La faiblesse de cette méthode, pour les jeunes couverts, est l'épaisseur de l'objectif qui fausse la hauteur de prise de la photographie. Cette dernière est ensuite traitée avec le logiciel GLA (Gap Light Analyser version 2.0 logiciel libre d'accès [www.ecostudies.org/gla/](http://www.ecostudies.org/gla/)), pour faire ressortir les zones visibles de ciel, qui détermineront l'indice LAI. Il explique aussi l'utilisation du ceptomètre, qui permet de mesurer l'absorption de l'énergie photosynthétique active (PAR). Le PAR est le spectre lumineux utilisé par les plantes pour la photosynthèse, et le ceptomètre permet de calculer le LAI en mesurant le rayonnement du PAR sous la canopée et en dessus. L'efficacité de la captation lumineuse influence directement la capacité à utiliser les ressources nutritives et hydriques du sol, ainsi les prélèvements par les adventices sont réduits, et la part disponible pour les cultures s'accroît. Le point clé est d'empêcher une invasion d'adventices avant que la culture associée couvre bien la parcelle, pour ce faire, le sarclage au début de la culture peut s'avérer nécessaire. Il est également important de trouver une association qui colonise rapidement la parcelle, dans l'étude de Olorunmaiye (2010), la diminution de la densité et biomasse des adventices n'est visible que dès 20 semaines après la plantation. Choudhary et Choudhury (2018) ont testé 6

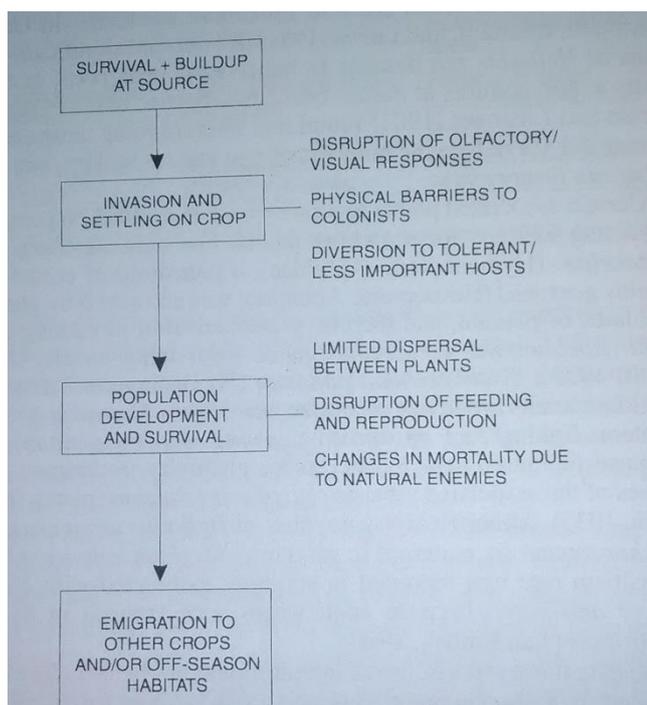
associations entre maïs-soja et maïs-arachide, avec plusieurs espacements entre les rangs de maïs et de légumineuses. Leur étude a déterminé que l'association contrôlant le mieux les adventices (maïs-soja 1:5), captait également plus efficacement les éléments nutritifs du sol (N, P, K), et avait le meilleur LER. Pour calculer l'efficacité du contrôle, ils ont mesuré la densité d'adventice (nombre de plantes /m<sup>2</sup>), la biomasse des adventices (g de matière sèche /m<sup>2</sup>), et l'indice d'efficacité d'étouffement des adventices (WSE %). Il se calcule par le ratio de la différence entre la biomasse d'adventices en culture pure et celle en association, par la biomasse d'adventices en culture pure :

$$WSE (\%) = \frac{B_{\text{culture pure}} - B_{\text{culture associée}}}{B_{\text{culture pure}}} * 100$$

Où B est la biomasse des adventices (g de matière sèche /m<sup>2</sup>) des cultures respectives. Cet indice donne un pourcentage de réduction des adventices, qui augmente avec la diminution de ces dernières. Lorsque les conditions climatiques ou pédologiques ne sont pas favorables, la gestion des adventices est encore plus importante, car elle évite qu'une part des ressources limitées soient perdues. Dans l'étude de Ariga, Odhiambo, et Friesen (2001), sur le contrôle de l'adventice *Striga hermonthica*, par l'association entre haricot et maïs, avec 3 modalités de semis, les parcelles à faible densité d'adventices ont obtenu des rendements meilleurs que les autres, lorsque l'alimentation hydrique était limitée. La modalité avec maïs et haricot semés dans le même trou a été la plus efficace pour contrôler les adventices. Cependant, elle n'obtient des rendements équivalents aux autres qu'en saison de courtes pluies, où l'alimentation hydrique est limitante, et ses rendements sont nettement supérieurs à ceux des autres modalités et à la culture pure, lorsque l'invasion par *Striga* est importante. On peut en conclure que ce mode de semis, haricot et maïs dans le même trou, est le plus efficace pour le contrôle des adventices, mais qu'il engendre de meilleurs rendements que lorsque le contrôle des adventices est indispensable.

### 1.3.2 Ravageurs

Les ravageurs des cultures ont un impact important sur le rendement agricole, et particulièrement pour les monocultures, qui ont tendance à attirer des densités plus importantes d'arthropodes herbivores. Cette baisse de rendement, estimée à 30% de la production agricole mondiale (Brooker et al. 2015), entraîne une lutte coûteuse et acharnée contre ces ravageurs. Les associations de cultures sont mentionnées depuis plus d'un demi-siècle (Aiyer 1949), comme méthode alternative de gestion des parasites, en entravant la colonisation des cultures par les ravageurs et le développement de leur population (Figure 4) (Altieri and Nicholls 2004).



**Figure 3: impact des cultures associées, sur les différentes étapes de la dynamique des populations de ravageurs (d'après Perrin & Phillips, 1978).**

Cette gestion des parasites par l'association de cultures, bien qu'observée dans des centaines d'études portant sur des centaines d'espèces d'arthropodes différents, n'est encore pas complètement élucidée. Elle peut avoir des effets nuls voir négatifs, en fonction des espèces de parasites, des plantes associées, et de la région (Brooker et al. 2015). Cependant, les phénomènes mentionnés dans la Figure 4 ont tous été testés, et provoquent une diminution des dommages causés par les arthropodes, dans la majorité des cultures associées. Andow (1991) a passé en revue 209 études sur la gestion des ravageurs, traitant ainsi 287 espèces d'arthropodes herbivores (Tableau 1). Parmi ces espèces il a conclu que 149 d'entre elles (52%) voyaient leurs populations diminuées par l'association de cultures, contre 44 (15%) qui étaient augmentées par cette même méthode. Les 94 autres espèces n'étant pas influencées clairement par l'association.

**Tableau 1: Nombre d'espèces d'arthropodes dont la dynamique de population est affectée par les cultures associées. Entre parenthèse le pourcentage des espèces étudiées (d'après Andow 1991).**

Population density of arthropod species in polyculture compared to monoculture:				
	Variable <sup>b</sup>	Higher	No Change	Lower
Herbivores	58 (20.2)	44 (15.3)	36 (12.5)	149 (51.9)
Monophagous	42 (19.1)	17 (7.7)	31 (14.1)	130 (59.1)
Polyphagous	16 (23.9)	27 (40.3)	5 (7.5)	19 (28.4)
Natural enemies	33 (25.6)	68 (52.7)	17 (13.2)	12 (9.3)
Predators	27 (30.3)	38 (42.7)	14 (15.7)	11 (12.4)
Parasitoids	6 (15.0)	30 (75.0)	3 (7.5)	1 (2.5)

La première étape de l'entrave des ravageurs par la culture associée, se fait lors de l'invasion de la culture par ces derniers (Figure 4). L'hypothèse de la concentration des ressources, formulée par Root (1973), propose que la concentration moins importante de plantes hôtes, lorsqu'elles sont associées avec une autre espèce, engendre une diminution des ravageurs attirés. Cette diminution est causée par la difficulté, pour les herbivores, de repérer les plantes hôtes dans un système diversifié. En effet, certaines cultures obstruent les signaux olfactifs et visuels permettant aux ravageurs de repérer leurs hôtes (Perrin 1976). Par exemple, les oignons dans les parcelles de carottes limitent la colonisation de ces dernières par *Psila rosae* (Altieri and Nicholls 2004). Quelques années plus tard, Vandermeer (1989) propose les hypothèses de la « disruptive crop » et de la « trap crop », qui englobent tous les facteurs minimisant la colonisation par les ravageurs. La « trap crop » est intéressante lorsqu'une seule des cultures de l'association n'est valorisée, car elle présume que certaines cultures attirent la majorité des herbivores sur elles, protégeant ainsi la culture valorisée. Ce paramètre ne sera pas pris en compte dans cette étude, car il engendre le sacrifice d'une culture, et nous souhaitons valoriser l'entier de notre association. La « disruptive crop » en revanche, propose que la culture associée dans son entier entrave le repérage par les parasites. Et ce, en obstruant leurs signaux olfactifs et visuels par certaines cultures, mais également en modifiant l'aspect général de la parcelle. Finch et Collier (2012) valident cette hypothèse en expliquant que l'apparence des hôtes est modifiée par la proximité avec une autre espèce, ce qui perturbe le repérage des herbivores.

Étude de l'association de cultures maïs-haricot comme moyen de gestion des adventices, et impacts sur les rendements.

Cependant, il faut noter que cette perturbation du repérage affecte essentiellement les arthropodes monophages, car la majorité des polyphages n'ont pas de systèmes de repérages précis et colonisent les zones reflétant le spectre lumineux vert (Smith and Mcorley 1994). C'est pourquoi, l'efficacité du contrôle des ravageurs par l'association de culture, est nettement supérieur pour les monophages. Dans l'étude de Andow (1991) (Tableau 1), 59% des populations de monophages observées, ont été réduites par l'association de culture, contre 8% qui ont été augmentées, alors que pour les polyphages 28% ont été réduites, et 40% ont été augmentées. Une dernière conséquence des cultures associées sur la colonisation est l'effet « barrière » qui obstrue l'entrée dans la parcelle de certains ravageurs, par la barrière verticale créée par l'association. Ainsi, le haricot est moins attaqué par des coléoptères lorsqu'il est cultivé en association avec le maïs, qui agit comme une barrière à l'encontre de ces derniers (Altieri and Nicholls 2004).

La deuxième étape de ce contrôle des ravageurs par les cultures associées, se fait une fois qu'ils ont colonisé une plante hôte, en entravant le développement de leur population (Figure 4). Ainsi, leur nombre reste limité, et l'émigration vers les autres plantes de la culture est minimisée, ce qui engendre une diminution des dégâts. La deuxième hypothèse de Root (1973), « enemies », postule que la modification de l'agrosystème, induite par une association, augmente l'efficacité du contrôle des ravageurs, par leurs ennemis naturels. Cette augmentation est due au plus grand nombre de sources alimentaires, que trouvent ces ennemis dans les cultures associées, car les différentes espèces de plantes sont attaquées à différentes périodes. Cette constance dans la présence de ravageurs permet à leurs ennemis, particulièrement aux prédateurs (généralistes), de trouver des proies toute l'année, et donc de ne pas quitter la culture à la recherche de nourriture. Altieri et Nicholls (2004), ajoutent que les généralistes trouvent également des sources d'alimentation alternatives (nectar, pollen), et que les parasitoïdes (spécialistes) sont favorisés par les refuges qu'offrent la culture associée aux herbivores, qui empêchent l'extinction de ces derniers, et assurent ainsi, une source durable d'herbivores hôtes pour les parasitoïdes. Selon les informations recueillies par Andow (1991) (Tableau 1) 53% des ennemis naturels observés ont vu leurs populations augmenter en culture associée, contre 9% qui ont été diminuées. Le contrôle des populations de ravageurs, par la modification de l'environnement des cultures, peut également agir directement sur les herbivores. En entravant leur déplacement vers les autres plantes, comme expliqué par l'hypothèse « disruptive crop », et en altérant les conditions climatiques nécessaires à ces derniers, comme la lumière. En effet, de nombreux ravageurs sont perturbés par l'ombrage, ce qui les empêche de se nourrir ou de se reproduire, ce qui entraîne généralement la fuite ou la mort d'une partie des

individus. Par exemple, le chou associé avec du trèfle subit moins de dégâts de *Delia brassicae*, car l'ombrage important diminue la ponte de cette dernière (Smith and Mcsorley 1994). Plus récemment, Lithourgidis et al. (2011) ont proposés qu'en plus de modifier l'environnement, l'association de culture ait tendance à modifier le contenu chimique des plantes, par la concurrence interspécifique, qui appauvrit les teneurs en éléments chimiques nécessaires aux herbivores. Cet appauvrissement peut avoir des effets sur la santé de ravageurs.

Dans le cas de notre association entre maïs et haricot, le principal ravageur est la Pyrale du maïs (*Ostrinia nubilalis*), responsable des plus grosses pertes mondiales dans les cultures de maïs. La femelle pond exclusivement sur le maïs (Frolov, Bourguet, and Ponsard 2007), c'est une espèce monophage, elle dépose ses œufs sous les feuilles, puis quand les larves sortent elles creusent dans les tiges et les épis. La femelle repère les plantes hôtes à l'aide de substances chimiques volatiles dégagées par le maïs (Molnár et al. 2015), c'est un signal olfactif qui la guide. Il est possible que l'association avec les haricots obstruent ces signaux, mais moins probable que pour des signaux visuels. Cependant, comme ce sont des ravageurs monophages, il y a des chances que la présence du haricot diminue le nombre de pyrales attirées, et entrave leur déplacement au sein de la culture. De plus, de nombreux ennemis naturels sont présents dans les champs de maïs, comme la punaise, la coccinelle et la larve de chrysope, qui seront probablement augmentés en culture associée.

### 1.3.3 Maladies

Les maladies des cultures, souvent d'origines fongiques ou bactériennes causent des dégâts importants en raison de la forte contagion qu'elles peuvent induire. Les méthodes conventionnelles de lutte contre ces microorganismes sont onéreuses en raison du nombre d'applications nécessaires pour empêcher la colonisation par ces derniers. De plus, l'utilisation d'éléments comme le cuivre ou le soufre, en culture bio, engendre des accumulations dans le sol, ce qui peut avoir des conséquences lourdes. Les cultures associées apportent un moyen de lutte alternatif, semblable dans son fonctionnement à la lutte qu'elles opposent aux arthropodes.

Dans une revue de littérature, faite par Boudreau (2013), portant sur plus de 200 études, 73% des associations ont obtenu une meilleure gestion des maladies que leurs monocultures respectives. Les raisons de ce contrôle sont essentiellement dues à la perturbation de la transmission des pathogènes.

Pour les maladies d'origine fongique, 79% des 111 études ont montré une réduction des dégâts dans les associations, par rapport aux cultures pures (Boudreau 2013). Les raisons principales de cette diminution des maladies fongiques sont la dispersion du

Étude de l'association de cultures maïs–haricot comme moyen de gestion des adventices, et impacts sur les rendements.

vent, de la pluie et la modification du microclimat. La densité supérieure de la canopée des cultures associées, induit un blocage de la dispersion des spores (Lithourgidis et al. 2011). Dans une association entre haricot et maïs, une diminution de 40% des spores de *Uromyces appendiculatus* sur le haricot, en fin de saison (Boudreau 2013). La dispersion de la pluie par la canopée peut également faire diminuer les maladies fongiques, en permettant aux feuilles d'être moins mouillées par les pluies, et donc de sécher plus vite (Schoeny et al. 2010). La diversité des cultures associées, et leur LAI important, peut influencer la température et l'humidité du microclimat, particulièrement en minimisant les variations entre jour et nuit. Dans une culture de tomate pure, au Mexique, l'humidité relative dépasse les 92% pendant 7 à 9h durant l'après-midi, ce qui permet à *Alternaria solani* de coloniser la culture. Cependant, la stabilité du microclimat des tomates associées avec des tagètes, réduit cette durée d'humidité à 3-6h ce qui ne permet pas au champignon d'attaquer les feuilles (Boudreau 2013). La concentration des plantes hôtes, diminuée si les deux espèces de l'association ne sont pas hôtes du champignon pathogène, peut entraver sa colonisation, car il ne pourra pas se développer sur la moitié des plantes de la parcelle.

Pour les maladies virales et bactériennes, la concentration des hôtes est un facteur important de leur réduction, mais le facteur principal est la lutte contre les vecteurs biotiques. De nombreux pathogènes sont transmis aux cultures par l'intermédiaire d'arthropodes herbivores, ou même d'adventices, et comme vu plus haut, les cultures associées ont tendance à contrôler les invasions de ravageurs et d'adventices. Ainsi elles se débarrassent de certaines maladies en repoussant leurs vecteurs (Boudreau 2013). Un dernier impacte que l'association de culture a sur les maladies, de toutes origines mais plus particulièrement les pathogènes du sol, est l'inhibition du pathogène par une des cultures. Cet effet est observé dans certains cas, où une plante spécifique inhibe un pathogène spécifique, souvent par exsudats racinaires. Par exemple, le champignon *Rhizoctonia*, pathogène des pommes de terres et présent dans le sol, est inhibé par l'association des patates avec du maïs ou du haricot (Boudreau 2013).

## 2 L'association « maïs-haricot » en pratique

### 2.1 Mise en place de la culture

#### 2.1.1 Choix des variétés

Le choix des variétés utilisées est important dans le cadre de l'implantation de n'importe quelle culture, pour obtenir un rendement intéressant, un produit attrayant pour les consommateurs, et des résistances ou tolérance à la sécheresse ainsi que certains parasites ou maladies. Mais ce processus est d'autant plus important dans le cadre d'une association de culture, car l'objectif d'un tel système est d'optimiser la complémentarité et de minimiser la compétition entre les deux cultures (Altieri and Nicholls 2004). Ce qui permettra à la parcelle d'être plus autonome en alimentation, résiliente aux invasions d'adventices, ravageurs et pathogènes, et d'optimiser le ratio du rendement par unité de surface (LER).

Pour atteindre de tels résultats, il faut choisir des variétés qui ne sont pas trop compétitives, afin d'éviter qu'une des cultures prenne le dessus sur l'autre, et l'empêche de jouer son rôle dans l'association. Car si l'une des cultures se développe mal, la capacité de contrôle des invasions et d'optimisation de l'utilisation des ressources, sera réduite, voir inhibée. Dans son étude, Liebenberg (1997) a étudié 2 variétés de maïs (une variété locale « KEP » & un hybride « SR 52 ») en association avec 2 variétés de haricots (une variété de Speckled Sugar Bean, « Umlazi » & une de Carioca Bean, « Mkuzi »), il a obtenu les meilleurs LER avec l'association KEP-Umlazi. Les raisons de ces meilleures efficacités sont, selon lui, la plus faible compétitivité de KEP avec les haricots, la durée de culture plus importante de Mkuzi, ainsi que son hétérogénéité de maturation. La durée de culture est également un facteur important, car dans le cas de cultures récoltées à la machine, il est complexe de ne récolter qu'une des 2 espèces associées. Dans une étude dans le canton de Genève, portant sur l'association entre la 3 variétés de haricot et la variété de maïs « Fabregas », Piccot (2020) a observé une maturité incomplète des haricots, au moment de la récolte du maïs. Ce qui n'a pas empêché la variété « Scarlet Emperor » (*Phaseolus coccineus*) de contrôler les invasions d'adventices, et d'avoir un rendement moyen acceptable, de 1t/ha. Un autre élément de choix des variétés de haricots, est ressorti des conclusions de cette étude, il s'agit de la taille des graines de haricots. Une taille importante de ces dernières permet un tri efficace, après la récolte, des deux cultures. Dans la suite de cette étude, effectuée l'année d'après sur la même parcelle, avec la variété de haricot « Scarlet Emperor » et la variété de maïs « Evolino », une bonne complémentarité a été observé dans l'association, prouvant ainsi que le semi simultané ne provoque pas de concurrence

nocive (Piccot 2021). Le choix de la variété « Evolino » a été fait en raison de sa faible compétitivité, mais surtout parce qu'il est une variété population, ne risquant pas de s'hybrider avec les autres maïs de la région, et permettant ainsi de le ressemer l'année suivante. Il engendre une meilleure autonomie pour les agriculteurs qui l'utilisent, et est valorisé par différents types de consommation (ensilage, grain, consommation humaine frais ou en polenta) (Piccot 2021). Dans une étude sur les différences entre géotypes de haricots, Wilker et al. (2019) ont mis en évidence la précocité des variétés patrimoines originaires des Andes, sur les variétés conventionnelles, sans que le rendement ne soit influencé. Il serait intéressant de tester l'effet de telles variétés en association avec du maïs. Dans une étude suisse, des meilleurs rendements de maïs et de haricot ont été observés avec la variété de haricot « Borlotto Lamon » (*Phaseolus vulgaris*), testé en association avec 2 variétés de maïs, par rapport aux variétés de haricot « Scarlet Emperor » et « Anellio Verde » (Ramseier and Burkhart Pastor 2018). Cependant, ils ont observé qu'aucune des variétés de haricots n'avaient atteint leur maturité en même temps que le maïs.

### **2.1.2 Méthode de semis**

De nombreux paramètres doivent être pris en compte, pour réaliser un semis de culture associée. La profondeur de semis de chacune des espèces, la date de semis, la répartition temporelle des semis (semis simultanés ou différés, et ordre des semis), ainsi que l'arrangement spatial de la parcelle (alternance entre les lignes de chaque espèce, ou tout sur la même ligne).

Pour un meilleur contrôle des adventices, aboutissant généralement à un meilleur rendement, surtout s'il y a concurrence pour une ressource, le semis des haricots sur une même ligne est plus efficace que les méthodes de semis alternés. Ariga, Odhiambo et Friesen (2001) ont observé un contrôle plus efficace de l'adventice *Striga hermonthica*, avec cette méthode, ce qui a abouti aux meilleurs rendements lorsqu'il y avait une alimentation hydrique limitante. De plus, le semis alterné pousse le haricot à s'accrocher sur les 2 lignes de maïs avoisinantes, ce qui empêche le sarclage, et fait perdre l'avance qu'il donne aux cultures sur les adventices (Piccot 2020). Cette mauvaise gestion des adventices entraîne des baisses de rendement. L'écartement entre les lignes de maïs varie entre 80 et 50 cm, mais étant donné la fonctionnalité acceptable du plus petit inter-rang, et l'objectif d'optimiser la production par unité de surface avec l'association, les 50 cm semblent plus pertinents.

Pour la répartition temporelle des semis, la compétitivité plus importante du maïs que du haricot suggère qu'il prendra le dessus sur son associé, c'est pourquoi Piccot (2020) a testé le semis simultané par rapport au semis retardé de haricot. Cependant, le problème

d'une telle pratique est qu'elle nécessite 2 dates rapprochées (espacées de 2 semaines dans l'étude de Piccot (2020)) avec des conditions climatiques permettant l'entrée du tracteur dans la parcelle. Dans cette étude, 5 jours de pluies ont repoussé la date du semis de haricot à 1 mois après celui du maïs, ce qui a provoqué un retard important pour le haricot, qu'il n'a jamais réussi à rattraper.

La date du semis de l'association doit être déterminée en fonction des 2 variétés semées, ce qui nécessite une bonne prévision des conditions météorologiques, afin d'avoir 2 cultures qui se développent de manière synchronisée. Dans le cas de l'association maïs-haricot, il faut trouver un compromis entre la période de semis du maïs (fin avril à mi-mai), et celle du haricot (dès mi-mai). Le maïs ne craint pas trop le froid, en revanche, s'il est semé trop tard il risque de produire plus de tige, avoir des problèmes de verse et synthétiser moins d'amidon, ce qui impacte le rendement et la qualité des grains (Agridea 2007). Le haricot, lui, peut être planté tard sans risques, si ce n'est la sécheresse, mais il est très sensible au froid et au gel, voilà pourquoi le semis doit se faire une fois le sol réchauffé, et pas avant les saintes glaces (~15 mai). Le semis simultané a été fait avec succès, à la ferme de Mapraz (GE), le 31 mai (Piccot 2020).

La profondeur de semis du maïs est d'environ 5 cm (Agridea 2007), alors que le haricot a une meilleure levée à 3 cm que plus profondément (Piccot 2021). Cette différence de profondeur ne pose aucun problème, car les semis sont effectués l'un après l'autre, avec 2 passages de tracteur.

## **2.2 Conduite**

De nombreuses études ont démontré que la fertilisation azotée de l'association maïs-haricot, engendrait une baisse du LER, ainsi que du contrôle des invasifs et de l'efficacité d'utilisation des ressources (Chang and Shibles 1985), (WOLLEY and DAVIS 1991) et (Piccot 2020). Cette baisse est due à la compétitivité supérieure du maïs en présence d'azote en quantité non limitante, par rapport au haricot qui est essentiellement compétitif en condition de manque d'azote. De plus, Barbosa et al. (2018) ont observés que la fixation d'azote par les haricots était diminuée par la présence d'azote en suffisance dans le sol. En outre, ils ont démontré également qu'une quantité insuffisante de phosphore disponible inhibait également la fixation d'azote atmosphérique, mais ce phénomène n'arrive que dans les sols très pauvres en phosphore.

L'irrigation peut augmenter l'efficacité de la fixation d'azote atmosphérique (Barbosa et al. 2018), cependant une culture associée est supposée avoir une meilleure gestion de l'eau, et donc ne devrait être irriguée qu'en cas de sécheresse importante.

Pour la gestion des adventices, un passage de sarcluse peut avoir de bons effets sur la suite de la culture. Car il permet de donner une avance importante à la culture associée, qui occupera vite toute la parcelle, et gèrera elle-même les adventices par la suite. Ce passage doit être fait le plus tard possible, mais avant que les cultures soient trop denses et risquent d'être endommagées par la sarcluse. Un passage effectué un mois après le semis a fait ses preuves à la ferme de Mapraz (GE) (Piccot 2020) (Piccot 2021).

### 3. Plan expérimental

#### 3.1 Introduction

À la suite de cette revue de littérature, les questions suivantes sont soulevées :

- Peut-on obtenir des rendements équivalents (LER) plus importants, avec l'association maïs-haricot, qu'avec 2 cultures pures de maïs et de haricot ? (cf. § 1.2.1)
- La culture associée maïs-haricot est-elle moins sensible aux invasions de ravageurs, adventices et maladies, que les 2 cultures pures respectives ? (cf. § 1.3)
- Une variation de rendement dans l'association maïs-haricot, par rapport aux 2 cultures pures respectives, est-elle influencée par une meilleure gestion des adventices, ravageurs et maladies ? (cf. § 1)
- La Variété des haricots *Phaseolus vulgaris* est-elle déterminante dans l'efficacité de l'association ? (cf. § 2.1.1)

Lors de notre étude, nous nous focalisons sur l'invasion des adventices, au détriment des autres envahisseurs. Ce en raison de leur impact important sur les cultures de maïs, de la spécificité des relevés concernant ravageurs et maladies, et du nombre important de mesures souhaitée. Avant la mise en place de l'essai, les hypothèses suivantes ont été posées :

- Un rendement équivalent en maïs (MEY) supérieur sera produit par l'association maïs-haricot, par rapport à la culture pure de maïs.
- Un rendement équivalent par unité de surface (LER) supérieur sera produit par l'association maïs-haricot, par rapport à la culture pure de maïs.
- L'association obtiendra un meilleur indice de rentabilité (IER) que la culture pure de maïs.
- L'impact des adventices sera plus important sur les cultures pures que sur l'association maïs-haricot.

Nous tentons de confirmer ou d'infirmer ces hypothèses avec les résultats de cette étude.

## 4 Matériel & méthodes

### 4.1 Situation

L'étude est menée sur une parcelle de 6'000m<sup>2</sup>, qui prend la forme de 5 bandes de 1'200m<sup>2</sup>, soit 5 bandes de 6x200m. Sur la bande centrale de 12 rangs, le maïs est semé en association avec du haricot rame (Figure 4).

Elle est située dans la Ferme pilote de Mapraz, à Thônex (GE), et s'inscrit dans la continuité d'une étude sur la gestion des grandes cultures en agriculture biologique, et sans apports de fumure. La ferme pilote est un projet qui a débuté en 1999, labélisé Bio-suisse depuis sa création, dirigé par Agridea et financé par le fond de recherche de la Coop. Sa SAU de 6 ha est positionnée à 400m d'altitude, sur sol lourd (texture : 46% argile, 35% silt & 19% sable), neutre à tendance légèrement alcaline (pH 7,7 7,9). Dans un but expérimental, la ferme ne reçoit aucuns intrants, la fertilisation se fait uniquement grâce à la part importante de fabacées dans la rotation de culture. Les taux satisfaisant de phosphore, de potassium et de matière organique lors de l'analyse de sol démontrent l'efficacité de cette méthode. Quant à la pression des adventices, elle est régulée par la rotation de culture avec prairies temporaires, le labour, le faux semis et le sarclage (Annexe 1 & Annexe 3).



**Figure 4: plan de la ferme pilote de Mapraz (tiré de Google maps, remaniement graphique Timothé Sonzogni)**

Les conditions climatiques normales dans le canton de Genève sont relativement chaudes (10,6 °C), avec une durée d'ensoleillement de 1767,6 h/année et une pluviométrie de 1005,2 mm/an (norme définie entre 1981 et 2010) (Annexe 2).

Pour l'année 2021 en cours (novembre 2020-octobre 2021), la température moyenne est très légèrement supérieure à la norme (11,1 °C), cependant la durée d'ensoleillement est nettement plus importante (1944,1 h) et la pluviométrie nettement diminuée (863,4 mm). Ces différences suivent l'évolution du climat des 10 dernières années, où la température et la durée d'ensoleillement ont tendance à augmenter, et la pluviométrie à diminuer. Néanmoins, par rapport à l'année précédente, la température (12,2 °C en 2020) et la quantité d'ensoleillement (2113,3 h en 2020) ont baissé, alors que la pluviométrie a augmenté (793,8 mm en 2020) (Annexe 2). On ne peut donc pas considérer cette année comme « normale » météorologiquement.

Si on se penche sur la station météorologique de Troinex, plus proche de la ferme de Mapraz, on constate que la pluviométrie totale est supérieure à celle du reste du canton (895,8 mm en 2020). De plus, on voit que la répartition des pluies change ces dix dernières années, et particulièrement depuis 2019, où l'intensité des précipitations dépasse systématiquement les 100 mm/h en moyenne (Agroscope 2020). Cette augmentation peut causer des dégâts aux cultures ainsi qu'aux sols agricoles (Annexe 2).

## 4.2 Matériel végétal et inoculant

La variété population de maïs « Evolino » est semée sur l'intégralité de la parcelle, en culture pure, et en association. Alors que les 2 variétés de haricots : « Borlotto Lamon » & « Vigneronne », ne sont semées que sur la bande centrale, en association avec le maïs, et sur 5 tronçons de 8 m en pur (Figure 5). Les 12 rangs de la bande centrale sont divisés en 4 tronçons de 3 rangs, avec chacun une modalité de haricot différente : les 2 variétés de *Phaseolus vulgaris* en inoculées et non-inoculées. L'inoculant utilisé est un mélange de souches de *Rhizobium leguminosarum*, (RF-60) de la marque RhizoFix®. La variété de maïs a été choisie pour l'intérêt qu'elle apporte en termes de commercialisation diverse (consommation humaine, farine et ensilage). De plus, c'est une variété population, qui offre aux agriculteurs la possibilité de sélectionner leurs propres variétés en utilisant une partie de leur récolte comme semences. Les variétés de haricots sont toutes deux de l'espèce *Phaseolus vulgaris*, pour éviter les croisements à tendance stérile entre espèces de haricots (Shii et al. 1982). Les 2 variétés ont été sélectionnées en fonction de leurs affinités avec le terroir suisse, qui laisse espérer une

bonne adaptation dans nos sols, leurs capacités à être consommés en sec, leurs précocités et leurs disponibilités en grande quantité chez le semencier bio Sativa.

### 4.3 Mise en place de l'essai & Conduite

Article	Variété	Maturité	Densité de semis graines / m <sup>2</sup>	Graines par sac
Maïs grain et d'ensilage				
m502	Population Evolino (OPM.12) Cat I	250	9-10	50.000



**VIGNERONNE**  
bo72 (Phaseolus vulgaris)

Variété traditionnelle semi-tardive, pour le plein champ. Gousses à l'aspect décoratif d'un vert marbré de rouge. Variété productive au développement foliaire vigoureux. Se prête bien au séchage.

Type: haricot à rame  
Couleur graine: marbré gris-violet  
Couleur gousse: vert moucheté de violet  
Longueur gousse: 20-25 cm  
Besoin en chaleur: sensible au gel  
Besoin en fumure: moyen  
Pause conseillée: 3-4 ans



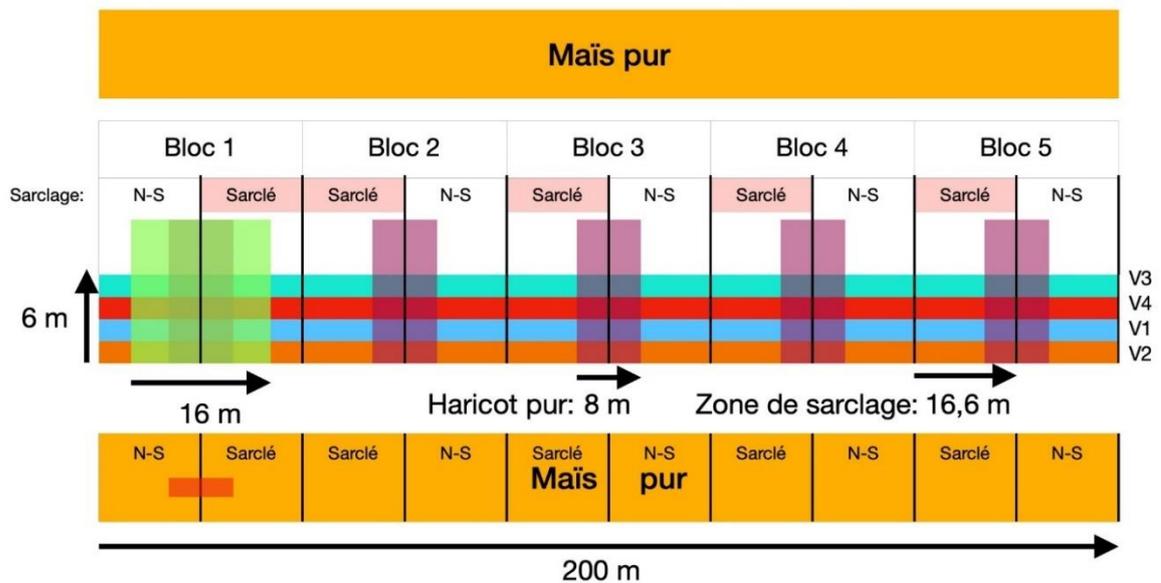
**BORLOTTO LAMON**  
bo79 (Phaseolus vulgaris)

Variété robuste de haricot à écosser. Les grains sont délicieux consommés à peine récoltés. Ils peuvent naturellement aussi être séchés. A besoin de chaleur pour arriver à maturité.

Type: haricot ramé à écosser  
Pause conseillée: 4 ans  
Couleur graine: beige tacheté  
Couleur gousse: vert moucheté de rouge  
Longueur gousse: 12 cm  
Besoin en chaleur: sensible au gel  
Besoin en fumure: non nécessaire

**Figure 5: liste du matériel végétal utilisé pour l'association de cultures de maïs et de haricot (catalogue Sativa)**

L'essai est mis en place le 15 juin 2021, avec un mois de retard par rapport à la date prévue, suites aux longues pluies du mois de mai qui n'ont pas permis un semis plus précoce. Il est semé sur 5 bandes de 6x200 m, soit une surface de 6'000 m<sup>2</sup>, à la ferme pilote de Mapraz. La bande centrale de la parcelle est semée avec l'association maïs-haricot, avec 4 modalités de haricot alors que les 4 autres bandes sont semées avec du maïs pur (Figure 6).



**Figure 6: Schéma de l'essai de culture associées de maïs et de haricot (en violet zone de haricot pur)**

Le semis est fait avec un semoir Mongrain, sur 12 rangs espacés de 50 cm, avec des densités de 12 grains/m<sup>2</sup> pour le haricot et 12 grains/m<sup>2</sup> pour le maïs. Les rangs 1 à 3 sont semés avec du haricot Borlotto Lamon non-inoculée (V3), 4 à 6 avec Vigneronne non-inoculée (V4), 7 à 9 Borlotto Lamon inoculée (V1) et 10 à 12 avec Vigneronne inoculée (V2) (Figure 7).

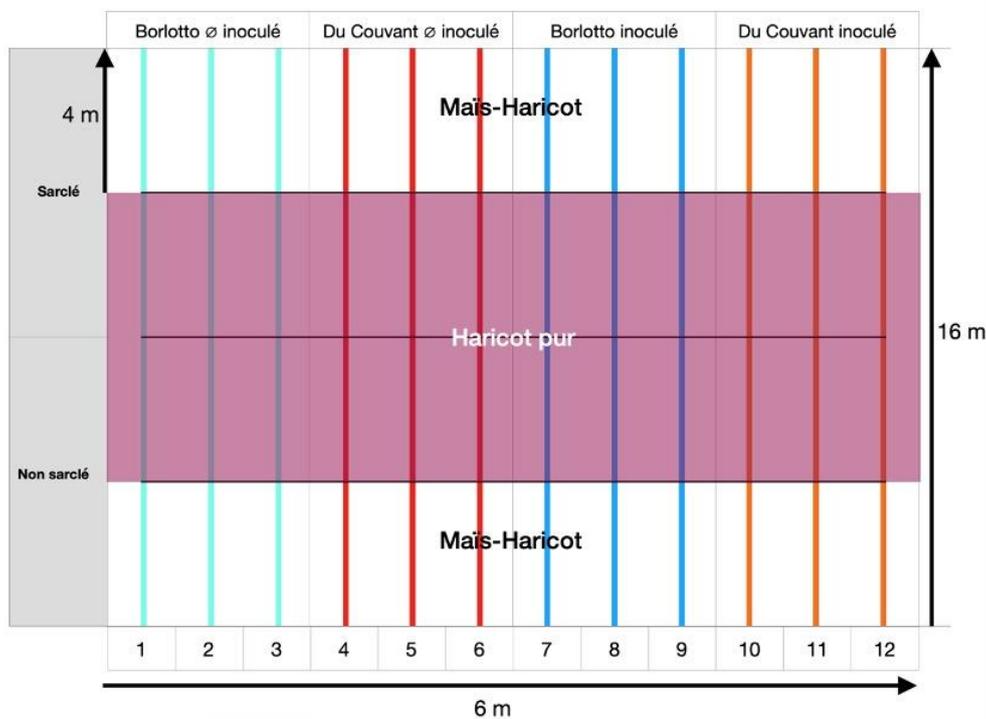


Schéma zoomé de la zone verte

**Figure 7: Zoom sur la petite parcelle contenant les 16 modalités de culture associées et de haricot pur**

Étude de l'association de cultures maïs–haricot comme moyen de gestion des adventices, et impacts sur les rendements.

Sur la bande centrale, le maïs et le haricot sont semés sur les mêmes lignes, en deux passages le même jour, à l'aide d'une assistance GPS. Le maïs est semé en premier sur les 5 bandes à une profondeur de 6-7 cm, à l'exception de 5 tronçons de 8 m linéaires de la bande centrale, où le semoir se bloque pour laisser 40 m de haricot pur, réparti sur toute la bande d'association. Le haricot est semé ensuite, uniquement sur la bande centrale, à une profondeur de 4 cm, afin de lui donner un peu d'avance sur le maïs. La bande centrale est ainsi composée de 10 x 16,6 m d'association et 5 x 8 m de haricot pur, soit 160 m d'association et 40 m de haricot pur (Figure 6).

Juste après le semis, de l'anti-limace (Sluux HP de Andermatt Biocontrol) est dispersé à la volée sur l'essai, puis il est recouvert d'un tissu Agryl P-17, pour protéger les semences contre les oiseaux. L'Agryl est ensuite retiré le 9 juillet, lorsque les cultures ont commencé le développement de leurs feuilles (stade phénologique > 14). Un unique passage de sarclouse à pattes d'oies est passé 2 semaines plus tard, le 22 juillet, sur 5 x 16,6 m de la bande associée et de la bande pure de droite, donc la moitié des 2 bandes observées sont sarclées. L'alternance entre zone sarclée et non sarclée se fait systématiquement au milieu des zones de haricot pur, afin d'avoir à chaque fois 4 m de haricot pur sarclés, et 4 m non-sarclés (Figure 6). Après le premier sarclage, les 40 m de haricots purs sont tuteurés avec des bambous de 3 m de haut, 10 tuteurs sont placés sur les 2 rangs extérieurs de chaque modalité, soit 80 tuteurs par bloc et 400 tuteurs sur l'essai.



**Image 2: Photos de l'essai au moment d'enlever les P-17 (à gauche) et le jour du sarclage (à droite). Stades phénologiques moyens = 17 et 26 (photos Timothé Sonzogni).**

Notre essai prend place à la suite d'une prairie temporaire de 2 ans (Mel Sdt 323), puis d'un blé d'automne. Il est la culture de niche testée pour la 3<sup>ème</sup> fois à la ferme de Mapraz, au sein d'une rotation de culture de 6 ans, contenant 1/3 de prairies temporaires et 1 culture de légumineuse à graine (Figure 8). Avant le semi, la parcelle a connu un labour et un hersage, puis juste avant le semi un grattage et un autre hersage.

Parcelle	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Parcelle	Rotation
1	Blé d'automne	Mel Sdt 323 (1ère année)	Mel Sdt 323 (2ème année)	Culture relais (Blé soja)	Niche	Légumineuse à graines	1	Blé d'automne
2	Mel Sdt 323 (1ère année)	Mel Sdt 323 (2ème année)	Cerqual	Mais Pop + maïs haricot (HEPIA)	Légumineuse à graines	Blé d'automne	2	Niche
3	Mel Sdt 323 (2ème année)	Avoine de printemps Canyon	Mais population + Maïs haricots	Essai variétal soja (FiBL)	Blé d'automne	Mel Sdt 323 (1ère année)	3	Légumineuse à graines
4	Blé d'automne	Maïs-haricot	Essai variétal soja	Blé d'automne	Mel Sdt 323 (1ère année)	Mel Sdt 323 (2ème année)	4	Blé d'automne
5	Millet	Essais Lupin	Blé d'automne Wwa, culture relais soja	Mel Sdt 323 (1ère année)	Mel Sdt 323 (2ème année)	Blé d'automne	5	PT (1ère année)
6	Féverole /avoine d'hiver	Avoine de printemps Canyon	Mel Sdt 323 (1ère année)	Mel Sdt 323 (2ème année)	Blé d'automne	Niche	6	PT (2ème année)

**Figure 8: Rotation de culture de la ferme pilote de Mapraz**

#### 4.4 Modalités et unité expérimentales (UE)

L'essai comporte 4 variables concernant les haricots, de 2 modalités chacune, ce qui donne 16 traitements :

- Système de culture : association maïs haricot & monocultures de haricot
- Variétés de haricots : « Vigneronne » & « Borlotto Lamon »
- Inoculation des semences de haricots : inoculées & non inoculées
- Conduite de la culture : sarclée & non-sarclée

À ces 16 traitements s'ajoute la variable du maïs en culture pure :

- Monoculture de maïs : sarclée & non-sarclée

Ce qui donne un total de 18 traitements. Suite à des contraintes pratiques, les 16 traitements concernant le haricot sont placés sur une seule bande de 6 x 200 m, sur 12 rangs espacés de 50 cm. Les 2 traitements concernant le maïs sont implantés sur 4 bandes du même format, des deux côtés de la bande d'association. Mais ils sont observés uniquement sur la bande à droite de l'association, qui est à moitié non-sarclée contrairement au 3 autres (Figure 6). Les variables de variétés de haricots et d'inoculation des semences sont allouées aléatoirement sur ¼ de la largeur de la bande (3 rangs chacune, d'une largeur totale de 1,5 m), pour toute la longueur de la bande (200m). La longueur de la bande est divisée en 5 blocs, dans chacun desquels les 2 variables de conduite (sarclé & non sarclé) sont allouées aléatoirement, au final la moitié de la longueur n'est pas sarclée. Ces 5 blocs englobent une des bandes de maïs pur adjacentes à la bande d'association, sur laquelle les 2 modalités de conduite (maïs

Étude de l'association de cultures maïs-haricot comme moyen de gestion des adventices, et impacts sur les rendements.

sarclé & maïs non sarclé) sont allouées aléatoirement à chacun des blocs selon le même tirage que pour la bande d'association (Figure 6). Cette étude prend presque la forme d'un essai en bandes croisées, cependant, le tirage des variables variétés et inoculation devrait être allouée au hasard dans chaque bloc, pour que la randomisation soit parfaite.



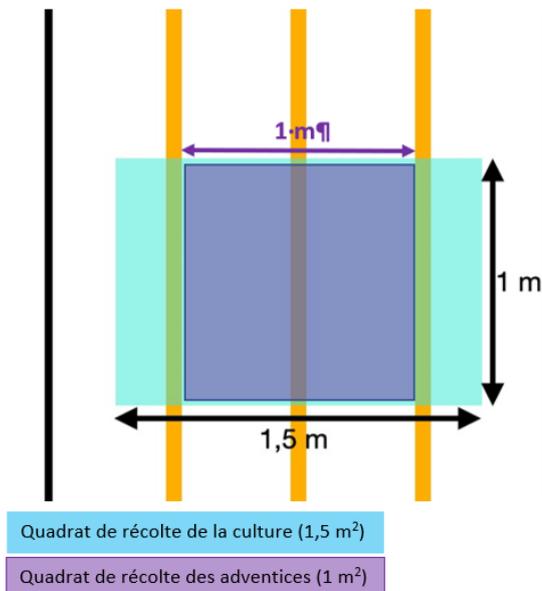
**Image 3: Jonction entre la zone de haricots purs (Vigneronne inoculées) et l'association (photo Timothé Sonzogni)**

Pour minimiser les déplacements sur la bande, les relevés sont effectués dans une « petite parcelle » de 16x6 m (en vert sur Figure 6), qui se répète dans chacun des blocs soit 5 fois sur la bande en association, et regroupe les 16 unités expérimentales (UE) de 4 m linéaire, ce qui fait un total de 80 UE sur toute la bande (Figure 7). Pour la variable de maïs pur, les 5 petites parcelles sont alignées avec celles de la bande en association, elles regroupent chacune 2 UE de 4 m linéaire sur les 6 premiers rangs (en rouge sur Figure 6). Ainsi les relevés sont pris avec 5 répétitions pour les 18 modalités, ce qui fait un total de 90 UE observées. Dans chaque petite parcelle, seule une ligne par modalité tirée aléatoirement, est observée pour les mesures non destructives (estimation visuelle du recouvrement, comptage des adventices, détermination de l'adventice dominante) (Tableau 2). Ce qui dénombre environ 12 plants de haricot et 20 plants de maïs par ligne observée, ce nombre varie entre les différentes UE en fonction de l'efficacité de la levée.

**Tableau 2: Randomisation des lignes de relevés au sein de l'essai en culture associée de maïs et de haricot**

Randomisation des relevés		
Blocs	Modalités	Lignes observées
1	Vigeneronne inoculée	12
1	Borlotto inoculé	7
1	Vigeneronne	5
1	Borlotto	2
1	Maïs pur	2
2	Vigeneronne inoculée	11
2	Borlotto inoculé	9
2	Vigeneronne	4
2	Borlotto	2
2	Maïs pur	4
3	Vigeneronne inoculée	11
3	Borlotto inoculé	9
3	Vigeneronne	6
3	Borlotto	3
3	Maïs pur	4
4	Vigeneronne inoculée	10
4	Borlotto inoculé	7
4	Vigeneronne	4
4	Borlotto	2
4	Maïs pur	3
5	Vigeneronne inoculée	10
5	Borlotto inoculé	8
5	Vigeneronne	4
5	Borlotto	3
5	Maïs pur	2

Pour les mesures destructives une zone représentative de chaque UE est déterminée, puis un quadrat de 1,5 m<sup>2</sup> y est posé pour récolter la culture, à l'intérieur duquel un quadrat de 1 m<sup>2</sup> délimite la récolte des adventices (Figure 9). Ainsi les mesures destructives couvrent les 3 lignes de chaque modalité, sur 1 m linéaire, alors que les mesures non destructives couvrent 1 ligne aléatoire sur 4 m linéaires.



**Figure 9: Méthode de prélèvement des échantillons, à la récolte (22 octobre), au sein de l'essai de culture associée de maïs et de haricot**

#### 4.5 Récolte des échantillons

La récolte des échantillons est effectuée le 22 octobre 2021 à la main, soit après 4 mois de culture. La récolte de la parcelle entière se fait environ 3 semaines après (10 novembre), à la moissonneuse-batteuse, lorsque le taux d'humidité du sol le permet. Toute la biomasse présente à l'intérieur des quadrats est récoltées et pesée directement au champ, avec une balance précise à plus ou moins 20 g. A partir des biomasses fraîches la biomasse sèche est extrapolée en la multipliant par le taux de matière sèche, par manque d'infrastructure nécessaire pour transporter et faire sécher le contenu des 90 UE. Ce taux est obtenu par le ratio de la biomasse sèche de 18 échantillons choisis aléatoirement (5 plantes de Vigneronne pure et associée, 5 de Borlotto pur et associé, 5 de Maïs pur et 5 d'adventices) par leur biomasse fraîche. Ensuite seuls les épis de maïs et les gousses de haricot sont conservés, pour toutes UE, afin de calculer le rendement. Le séchage des échantillons de biomasse est effectué pendant 10 jours en grange (grenier) à  $\sim 20^{\circ}\text{C}$  puis 2h à  $105^{\circ}\text{C}$  (1,5h pour les modalités avec Borlotto), alors que



**Image 4: récolte entreposée en grange en attendant le séchage (photo Timothé Sonzogni).**

le rendement est séché à 105°C pendant 24h après égrainage des épis et écosage des gousses.

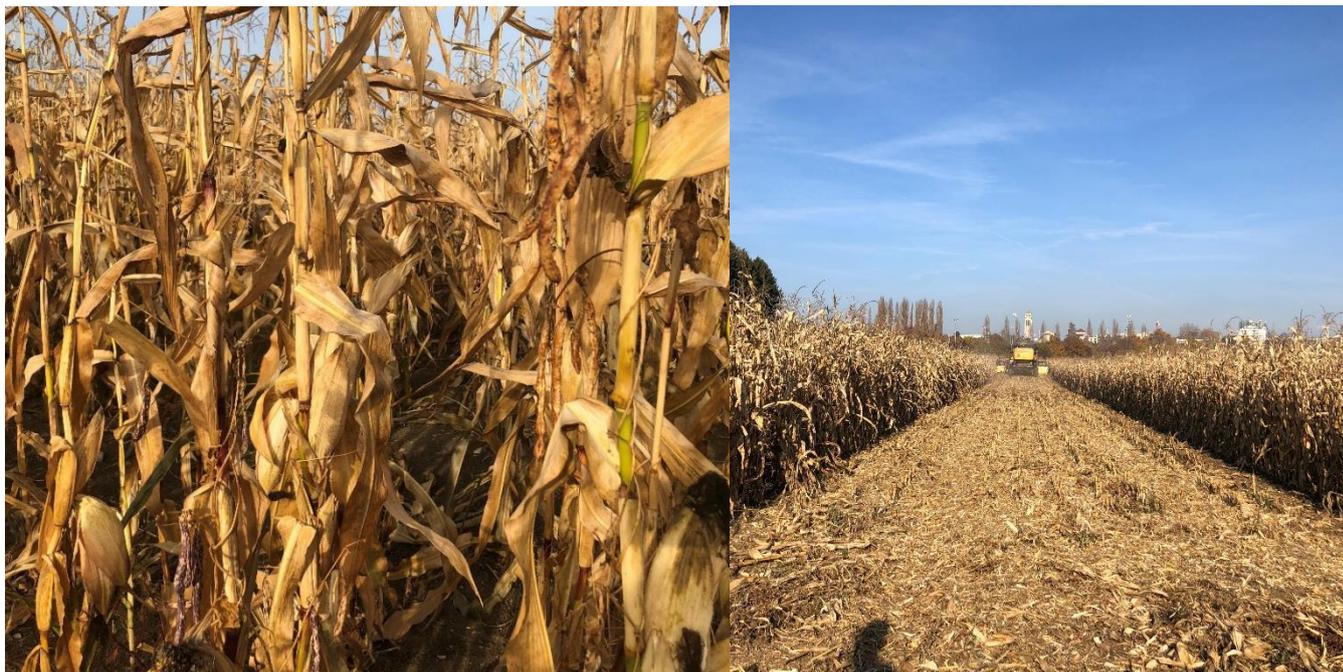


Image 5: Culture associées le jour de la récolte des échantillons (22 octobre) et à la moisson (10 novembre) (photo Timothé Sonzogni).

#### 4.6 Mesures & Observations

Différentes mesures et observations sont effectuées, afin de confirmer ou d'infirmes les hypothèses émises. Chaque mesure est relevée simultanément sur l'ensemble des 90 UE. Les relevés concernant les adventices sont effectués toutes les deux semaines, à l'exception des mesures destructives, qui sont relevées au moment de la récolte, avec celles concernant la productivité et l'utilisation des ressources. Les stades phénologiques sont évalués en fonction de l'échelle BBCH (Annexe 4) (Meier 2001).

##### 4.6.1 Mesures non destructives

Diverses mesures sont prises toutes les 2 semaines, au sein de chaque UE, les rangs sélectionnés aléatoirement (Tableau 2), soit 90 quadrats de 4 m<sup>2</sup>. Les relevés sont effectués systématiquement par la même personne et en une seule journée pour l'ensemble des UE, aux 7 dates suivantes : 9 juillet, 31 juillet, 10 août, 27 août, 7 septembre, 21 septembre, 7 octobre

- Le pourcentage de recouvrement du sol par les adventices, la culture et le sol resté nu est estimé visuellement, à l'aide d'une fiche d'estimation du recouvrement du sol (Annexe 5)(D Bayley 2001).

- Le nombre d'adventices/4 m<sup>2</sup> est compté puis extrapolé en nombre d'adventices/m<sup>2</sup>.
- L'adventice dominante de chaque UE est déterminée à l'espèce.



Image 6 : Estimation visuelle de la surface de recouvrement (photo Timothé Sonzogni).

#### 4.6.2 Mesures destructives

- Le rendement en kg/ha est relevé lors de la récolte pour les grains de maïs et de haricots. Les plants de maïs et de haricots contenus dans le quadrat de 1,5 m<sup>2</sup> de chaque UE (50 contenant du maïs et 80 contenant du haricot), sont prélevés à la main. Ils sont ensuite égrainés puis séchés et pesés avec une balance précise à 1 g, pour établir le rendement en g/1,5m<sup>2</sup>, qui est extrapolé en kg/ha. Les grains pesés sont à 100% de MS, les valeurs calculées sont modifiées pour exprimer la masse du rendement à 86% de MS pour le maïs ( $x/86*100$ ), et 87% de MS pour le haricot ( $x/87*100$ ). Cette mesure permet de calculer le rendement équivalent par unité de surface (LER), le rendement en équivalent maïs (MEY) et l'indice de rentabilité (IER), qui sont de bons outils de comparaisons entre culture associée et monoculture. Pour le MEY et le IER, 2 prix ont été estimés pour la vente du haricot sous forme de grain sec, pour lequel il n'existe pas de marché en suisse : Le premier prix a été estimé en fonction des prix du haricot Borlotto Bio d'Italie en petite quantité (1,4 CHF/100g), il est de 10 CHF/kg pour être adapté à des quantités supérieures ; Le second est la conversion du cours du marché du haricot sec (à écosser) en France (1,14 €/kg) (FranceAgriMer

Étude de l'association de cultures maïs–haricot comme moyen de gestion des adventices, et impacts sur les rendements.

2021), ce qui donne 1,21 CHF/kg. Le premier semble plus réaliste dans un scénario où les haricots sont Bio et commercialisés en quantité limitée et circuit court. Le second serait plus adapté si un marché se développe en Suisse pour



Image 7: Épis et grains de maïs Évolino (photo Timothé Sonzogni).

de la grosse quantité, et en agriculture conventionnelle. Le prix du maïs grain Bio à 86% de MS (0,82 CHF/kg) est tiré de la fiche Agridea sur la commercialisation du maïs (Agridea 2020).

- La biomasse des parties aériennes des cultures et des adventices, en kg de matière sèche/ha, est relevée lors de la récolte, le 22 octobre. La biomasse des cultures est récoltée sur des quadrats de 1,5 m<sup>2</sup>, alors que celle des adventices est récoltée sur des quadrats de 1 m<sup>2</sup>. Le contenu des 90 quadrats d'adventices et des 90 quadrats de culture est pesé en frais directement au champ, puis les masses fraîches (MF) sont multipliées par les taux d'humidité, estimés avec 30 échantillons séchés. Les masses sèches (MS) ainsi obtenues (en kg/m<sup>2</sup> pour les adventices, et kg/1,5m<sup>2</sup> pour les cultures) sont extrapolées en kg/ha. La mesure du rendement est faite ensuite sur les grains de ces mêmes plants. La biomasse des cultures associées est comparée à la biomasse des monocultures. C'est un moyen de comparer la quantité de ressources prélevées par les différentes cultures (à l'exception des éléments stockés dans les racines), et qui donne une indication sur la protection du sol face aux intempéries. Les biomasses des adventices de chaque modalité sont également comparées. Enfin, l'indice

d'efficacité d'étouffement des adventices (% WSE) est calculé pour comparer la résilience aux adventices des différentes cultures.



Image 8: grains de maïs, Vigneronne, et Borlotto issus de l'essai (photo Timothé Sonzogni).

#### 4.7 Analyse des données

Les données récoltées sont d'abord comparées graphiquement (carte barre, boîte à moustache, graphique linéaire, camembert), pour chaque mesure relevée entre les différentes modalités. L'analyse statistique à l'aide de l'ANOVA permet ensuite de vérifier si les différences observées sont significatives. Cependant, l'essai étant composé d'une seule bande, avec pour chaque modalité les 3 mêmes rangs dans tous les blocs, un biais risque d'être causé par les différences du terrain entre les lignes. Comme toutes les répétitions sont sur la même bande, une différence entre les blocs est également probable.

## 5. Résultats et Discussions :

De nombreuses mesures sont relevées dans l'essai de cultures associées, entre maïs et haricot, à la ferme de Mapraz. Seules les mesures touchant au rendement et à la lutte contre les adventices seront présentées dans ce travail.

### 5.1 Suivit de culture

Durant les 4 mois de culture, l'essai est observé régulièrement et les stades phénologiques de chaque variété sont déterminés, afin de suivre l'évolution des cultures (Annexe 6). Ces stades, pour les 7 dates d'estimation du recouvrement ainsi que pour la date de récolte (22 octobre), sont affichés ci-dessous (Tableau 3). Ce suivit montre bien la précocité de la variété Borlotto Lamon par rapport à Vigneronne, ce qui peut expliquer d'autres différences abordées plus bas.

**Tableau 3: Stades phénologiques de chaque variété de haricot et de maïs, aux différentes dates de relevés**

Dates de relevés		9 /07	31/07	10/08	27/08	7/09	21/09	7/10	22/10
<b>Haricot</b>	Vigneronne	16	26	59	69	75	82	86	87
	Borlotto	22	55	65	75	79	86	88	97
<b>Maïs</b>	Evolino	15	34	51	61	71	75	83	88

## 5.1.1 Surface de sol nu

### 5.1.1.1 Résultats

L'estimation visuelle de la surface de sol nu (%) est effectuée 7 fois durant les 4 mois de culture, sur chacune des 90 UE, soit avec 5 répétitions pour les 18 modalités. Le Tableau 4 présente les moyennes de ces estimations, avec en rouge les valeurs les plus faibles de chaque date, et en bleu les plus importantes. Deux analyses statistiques (ANOVA) sont effectuées, pour les dates avec le plus de différences (le 7/09 et le 21/09), les données ne partageant aucune lettre sont statistiquement différentes au seuil des p-valeurs correspondantes (Statistique en Annexe 7).

**Tableau 4: Moyennes des estimations de la surface de sol nu (%), au sein de l'essai sur l'association de culture de maïs et haricot, aux 7 dates de relevés**

Modalités		9/07	31/07	10/08	27/08	7/09	21/09	7/10
Association sarclée	Vigeronne inoculée	75	50	30	22	14 G	16 F	35
	Borlotto inoculé	75	51	39	34	27 CDE	26 CDEF	45
	Vigeronne	75	55	43	29	22 EFG	21 EF	47
	Borlotto	75	49	34	30	25 CDEF	29 CDE	46
Haricot pur sarclé	Vigeronne inoculée	75	59	48	33	23 DEFG	25 CDEF	31
	Borlotto inoculé	75	65	62	50	46 AB	51 A	56
	Vigeronne	75	67	60	47	39 ABC	33 BCD	43
	Borlotto	75	68	67	58	57 A	63 A	61
Haricot pur non-sarclé	Vigeronne inoculée	75	60	44	30	23 EFG	22 F	29
	Borlotto inoculé	75	62	55	41	31 CDE	36 BC	47
	Vigeronne	75	59	51	29	22 EFG	25 CDEF	29
	Borlotto	75	61	55	41	34 BCDE	46 AB	44
Association non-sarclée	Vigeronne inoculée	75	50	36	22	16 FG	21 EF	33
	Borlotto inoculé	75	53	41	29	24 DEFG	21 EF	33
	Vigeronne	75	54	41	23	17 FG	20 EF	38
	Borlotto	75	50	32	26	24 DEFG	22 DEF	43
Maïs pur	Non-sarclé	75	53	44	39	29 CDE	25 CDEF	33
	Sarclé	75	54	52	44	35 BCD	30 CDE	41
P valeurs		-	-	-	-	0,000000 58	0,000000 01	-

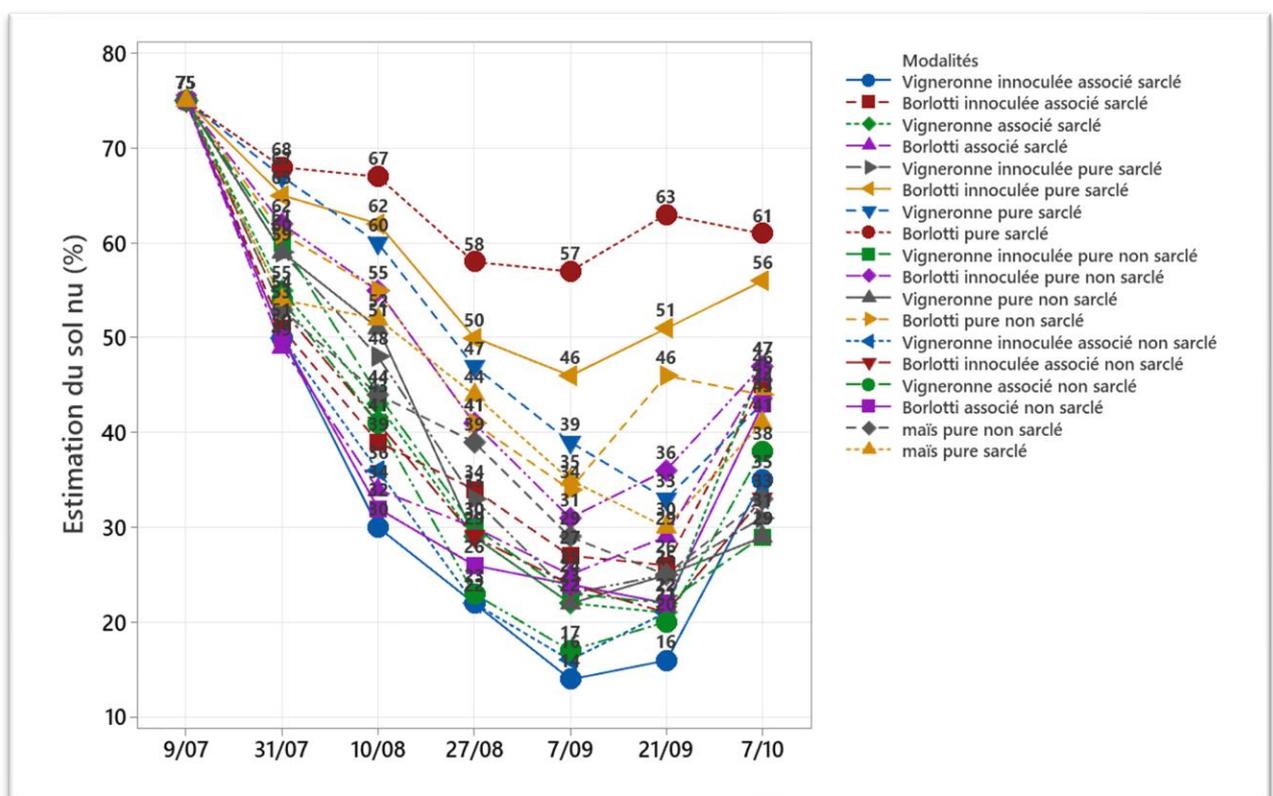
*Les données sont les moyennes de 5 répétitions*

*Les données ne partageant aucune lettre sont statistiquement différentes*

Ces données montrent deux modalités qui sortent du lot : l'association sarclée avec Vigeronne inoculée, qui a 5 fois de suite la plus petite surface de sol nu ; et le haricot pur sarclé avec Borlotto, qui a 6 fois de suite la plus grande surface de sol nu. Les

analyses statistiques démontrent effectivement que le haricot pur sarclé avec Borlotto possède le plus de surface de sol nu aux 2 dates ciblées (seuls 3 modalités n'ont pas de différence statistique avec cette modalité). Pour l'association sarclée avec Vigneronne inoculée, l'analyse statistique ne montre pas de différences significatives avec un plus grand nombre de modalités (8 modalités le 7/09 & 10 modalités le 21/09) que celles avec lesquelles il y a une différence significative (Tableau 4).

Pour mieux visualiser les différences de surface de sol nu, un graphique des évolutions est préférable (Figure 10). Bien que la plupart d'entre elles ne soient pas significatives, ces différences sont tout de même visibles graphiquement.



**Figure 10: Graphique de l'évolution des estimations visuelles de la surface de sol nu (%), au sein de l'essai sur l'association de culture de maïs et haricot, entre le 9/07 et le 7/10, pour les 18 modalités.**

Ce graphique montre clairement que le haricot pur sarclé avec Borlotto est la modalité avec la plus grande surface de sol nu, suivit par le haricot pur sarclé avec Borlotto inoculé. Les autres modalités sont toutes relativement similaires, mais les modalités de haricots pur ont une tendance à avoir des surfaces de sol nu plus importantes, et l'association sarclée avec vigneronne inoculée atteint la plus petite surface de sol nu (14%) le 7 septembre (Figure 10).

### 5.1.1.2 Discussion

Ces résultats nous permettent d'identifier tout d'abord la meilleure variété de haricot pour couvrir le sol, qui est la variété Vigneronne. Cette dernière possède une surface de sol nu plus faible que Borlotto, aussi bien en inoculée qu'en non-inoculée, au sein des modalités associées et pure, sarclées et non-sarclées. Il faut tout de fois tenir compte du stade phénologique plus avancé de Borlotto qui pourrait biaiser cette conclusion. Cependant vu la faible avance aux 7 et 21 septembre (Tableau 3), et la force des différences à ces mêmes dates, il est hautement improbable qu'elles soient uniquement dues à la précocité de la variété Borlotto.

L'efficacité inférieure des cultures pures de haricot, pour couvrir le sol, peut également être affirmée, car pour chacune des variétés, en sarclée et non-sarclée, les cultures associées possèdent une plus petite surface de sol nu que les pures.

En revanche, les résultats de surface de sol nu ne permettent pas d'affirmer que le sarclage, l'inoculation et la culture associée (par rapport au maïs pur) ont un impact sur la culture.

## 5.1.2 Surface de recouvrement par la culture

### 5.1.2.1 Résultats

L'estimation visuelle de la surface de recouvrement par la culture (%) est effectuée 7 fois durant les 4 mois de culture, sur chacune des 90 UE, soit avec 5 répétitions pour les 18 modalités. Le Tableau 5 contient les moyennes de ces estimations, avec en rouge les valeurs les plus importantes de chaque date, et en bleu les plus faibles. Deux analyses statistiques (ANOVA) sont effectuées, pour les dates avec le plus de différences (le 7/09 et le 21/09), les données ne partageant aucune lettre sont statistiquement différentes au seuil des p-valeurs correspondantes (Statistique en Annexe 8).

**Tableau 5: Moyennes des estimations de la surface de recouvrement par la culture (%), au sein de l'essai sur l'association de culture de maïs et haricot, aux 7 dates de relevés**

Modalités		9/07	31/07	10/08	27/08	7/09	21/09	7/10
Association sarclée	Vigeronne inoculée	20	46	62	71	77 A	78 A	56
	Borlotto inoculé	20	45	54	59	64 BCD	67 ABC	51
	Vigeronne	20	38	50	65	71 AB	73 AB	49
	Borlotto	20	45	56	63	68 ABC	65 ABC	49
Haricot pur sarclé	Vigeronne inoculée	15	33	39	50	56 DE	57 CDE	45
	Borlotto inoculé	15	28	27	24	21 I	17 G	18
	Vigeronne	15	28	28	33	38 FG	47 DEF	40
	Borlotto	15	27	21	19	17 I	10 G	19
Haricot pur non-sarclé	Vigeronne inoculée	15	32	43	46	46 EF	47 EF	38
	Borlotto inoculé	15	28	26	22	19 I	10 G	7
	Vigeronne	15	30	33	35	35 GH	35 F	29
	Borlotto	15	24	29	24	25 HI	12,2 G	18
Association non-sarclée	Vigeronne inoculée	20	42	55	69	71 AB	71 ABC	51
	Borlotto inoculé	20	40	46	55	59 CD	61 BCD	49
	Vigeronne	20	34	50	63	70 AB	67 ABC	51
	Borlotto	20	42	57	62	65 BCD	65 ABC	47
Maïs pur	Non-sarclé	20	38	43	51	57 D	61 BC	48
	Sarclé	20	38	43	52	56 DE	62 ABC	47
P-valeur		-	-	-	-	0	0	-

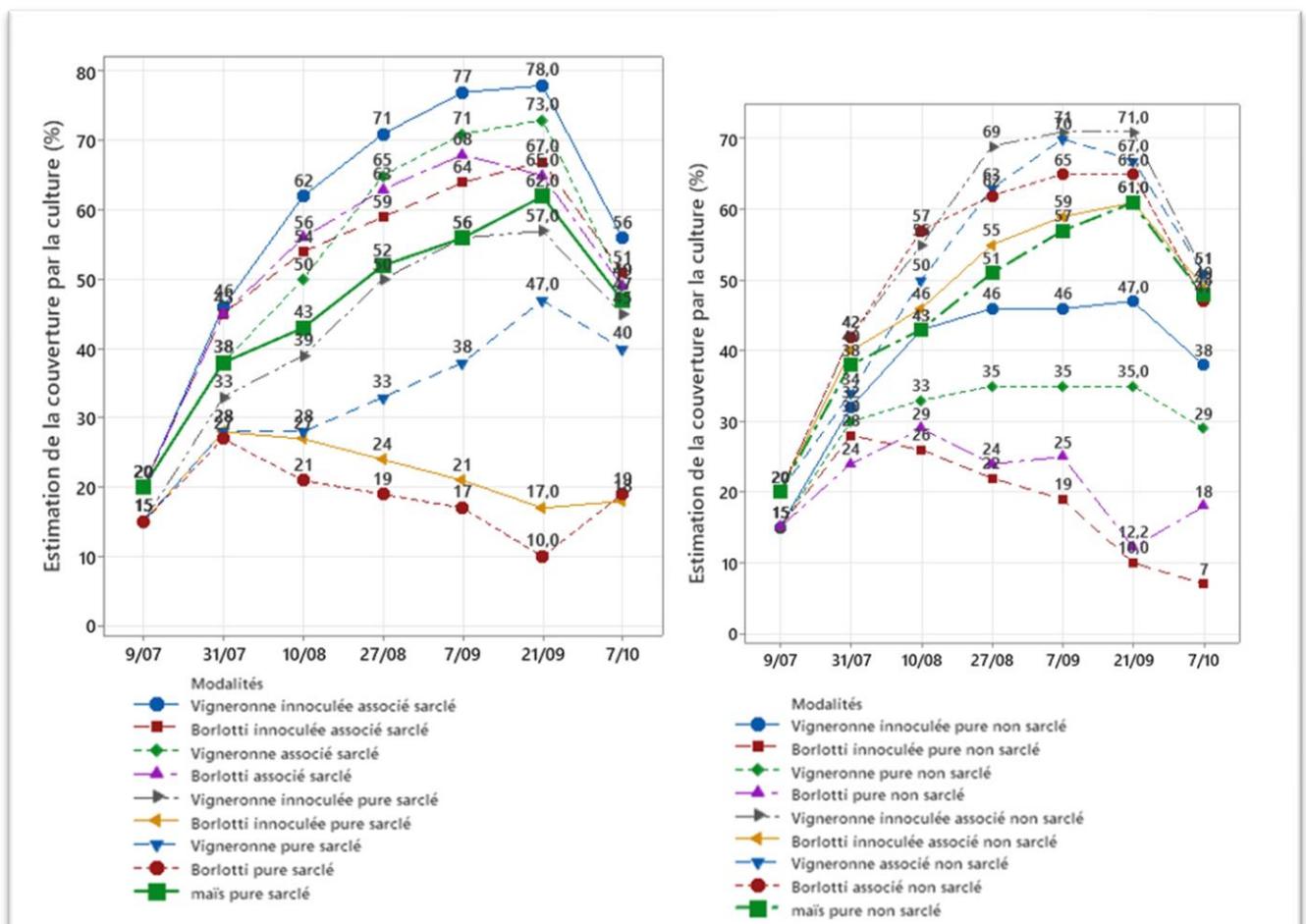
Les données sont les moyennes de 5 répétitions

Les données ne partageant aucune lettre sont statistiquement différentes

Ces données font ressortir 2 modalités : l'association sarclée avec Vigneronne inoculée, qui possède la couverture de sol la plus importante par la culture, et le haricot pur sarclé avec Borlotto, qui lors de 5 relevés de suite couvre le moins le sol.

La couverture de sol par les cultures associées se distingue de celles par les cultures pures de haricot. En effet, le 7 septembre, les 4 associations avec Vigneronne et une avec Borlotto (association sarclée avec Borlotto) sont statistiquement différentes de toutes les cultures pures, y compris les 2 cultures de maïs pur, au seuil de 0%. De plus, le 21 septembre, toutes les associations à l'exception d'une (association non-sarclée avec Borlotto inoculé) sont statistiquement différentes de 7 des 8 cultures de haricot pur (sauf haricot pur sarclé avec Vigneronne inoculée) au seuil de 0%.

Une différence entre les 2 variétés de haricot apparaît également statistiquement, surtout en culture pure. Avec une différence significative le 7 septembre entre les 4 cultures pures de Vigneronne et 3 des 4 cultures pures de Borlotto (sauf Borlotto pur non sarclé). Et le 21 septembre, toutes les cultures pures de Vigneronnes se distinguent significativement de toutes les cultures pures de Borlotto (Tableau 5). Ces différences statistiques sont observables graphiquement sur la Figure 11 ci-dessous.



**Figure 11: Graphique de l'évolution de la surface de recouvrement du sol par la culture (%) aux 7 dates de relevés, au sein de l'essai sur l'association de culture de maïs et haricot, pour les modalités sarclées (à gauche) et non-sarclées (à droite).**

Ce graphique nous montre en gras l'évolution des couvertures de sol par le maïs pur, en sarclé (à gauche) et en non-sarclé (à droite). Ces 2 modalités séparent les 2 graphiques en 2 parties : En dessus d'elles les modalités en association, avec des surfaces de recouvrement plus importantes ; Et en dessous d'elles les modalités en culture pure de haricot, avec des surfaces de recouvrement plus faibles.

Au sein des modalités en association les différences sont faibles, nous pouvons cependant noter une couverture légèrement supérieure par les associations sarclées, et observer que les associations avec Vigneronne inoculée sont au sommet des 2 graphiques.

En revanche, au sein des modalités de haricot pur, des différences sont bien observables : La Vigneronne inoculée est nettement supérieure aux autres (différence statistiquement significative, sauf pour le 21/09 en sarclés, avec Vigneronne), suivit par la Vigneronne, qui est bien supérieure aux 2 variétés de Borlotto (différence statistiquement significative, sauf pour le 7/09 en non sarclé, avec Borlotto). La variété Borlotto, en inoculé et normale, présente une très faible couverture de sol (Figure 11).

#### 5.1.2.2 Discussion

Ces résultats nous montrent clairement la meilleure efficacité des cultures associées pour couvrir le sol, par rapport aux cultures pures, surtout de haricots mais aussi de maïs. Ce qui semble logique étant donné la densité plus forte des zones en associations (les cultures sont semées à la même densité en association et pure, mais 2 cultures sont semées sur la bande associée).

La variété Vigneronne se distingue fortement de Borlotto en termes de couverture de sol par la culture, ces résultats nous permettent d'affirmer sa meilleure efficacité, autant en culture pure qu'associée. La précocité de Borlotto pourrait être en lien avec sa couverture plus faible (concentration de l'énergie dans les gousses trop tôt) (Tableau 3). Une différence au sein des variétés est également perceptible, par la supériorité des Vignerottes inoculées sur les Vignerottes, et par l'infériorité des Borlotti inoculés sur les Borlotti. Il est possible que l'inoculant soit à l'origine de ces différences, mais il faut tenir compte du fait que les 4 modalités de variétés sont semées sur les mêmes rangs sur l'intégralité de l'essai, et que les roues du tracteur passent exactement sur les rangs de Borlotto inoculé et de Vignerotte (Figure 12). Il est donc plus probable que ces différences soient un effet des rangs de semis.



**Figure 12: semis de l'essai, avec les roues du tracteur sur les rangs 4, 5, 6 (Vigneronne) et 7, 8, 9 (Borlotto inoculé) (photo Timothé Sonzogni).**

Ces résultats ne permettent pas d'affirmer l'effet du sarclage sur la surface de recouvrement par la culture, car les différences sont trop faibles.

### 5.1.3 Surface de recouvrement par les adventices

#### 5.1.3.1 Résultats

L'estimation visuelle de la surface de recouvrement par les adventices (%) est effectuée 7 fois durant les 4 mois de culture, sur chacune des 90 UE, soit avec 5 répétitions pour les 18 modalités. Le Tableau 6 contient les moyennes de ces estimations, avec en rouge les valeurs les plus faibles de chaque date, et en bleu les plus importantes. Deux analyses statistiques (ANOVA) sont effectuées, pour les dates avec le plus de différences (le 7/09 et le 21/09), les données ne partageant aucune lettre sont statistiquement différentes au seuil des p-valeurs correspondantes (Statistique en Annexe 9).

**Tableau 6: Moyennes des estimations de la surface de recouvrement par la culture (%), au sein de l'essai sur l'association de culture de maïs et haricot, aux 7 dates de relevés**

Modalités		9/07	31/07	10/08	27/08	7/09	21/09	7/10
Association sarclée	Vigeneronne inoculée	0	0,6	0,8	<b>3</b>	4 FG	<b>2,4 G</b>	4
	Borlotto inoculé	0	<b>0,4</b>	<b>0,6</b>	<b>3</b>	3,2 FG	4 G	3
	Vigeneronne	0	0,8	0,8	<b>3</b>	<b>3 G</b>	<b>2,4 G</b>	<b>3</b>
	Borlotto	0	0,6	1,4	4	<b>3 G</b>	2,8 G	5
Haricot pur sarclé	Vigeneronne inoculée	0	2,8	9,2	17	18 CD	17 DEF	20
	Borlotto inoculé	0	6	9,2	25	31 ABC	31 ABC	26
	Vigeneronne	0	3,4	6,4	18	22 ABC	19 CDE	17
	Borlotto	0	7	8	18,2	24 BC	27 BCD	20
Haricot pur non-sarclé	Vigeneronne inoculée	0	2,8	10	22	29 ABC	30 BCD	33
	Borlotto inoculé	0	<b>8,2</b>	14	<b>36</b>	<b>48 A</b>	<b>56 A</b>	<b>46</b>
	Vigeneronne	0	6,4	<b>15</b>	35	39 AB	38 AB	42
	Borlotto	0	<b>8,2</b>	12	32	38 AB	41 AB	38
Association non-sarclée	Vigeneronne inoculée	0	2,8	7	9	11 DEF	9 EF	15
	Borlotto inoculé	0	5,4	12	15	16 CD	17 CDE	17
	Vigeneronne	0	3,4	9	11	13 CD	13 DEF	8
	Borlotto	0	4,6	7,2	9	8 DE	12 DEF	8
Maïs pur	Non-sarclé	0	7,4	10	11	15 CD	17 CDE	17
	Sarclé	0	1	3,4	4,4	5,2 EFG	7,2 F	10
P-valeur		-	-	-	-	0	0	-

*Les données sont les moyennes de 5 répétitions*

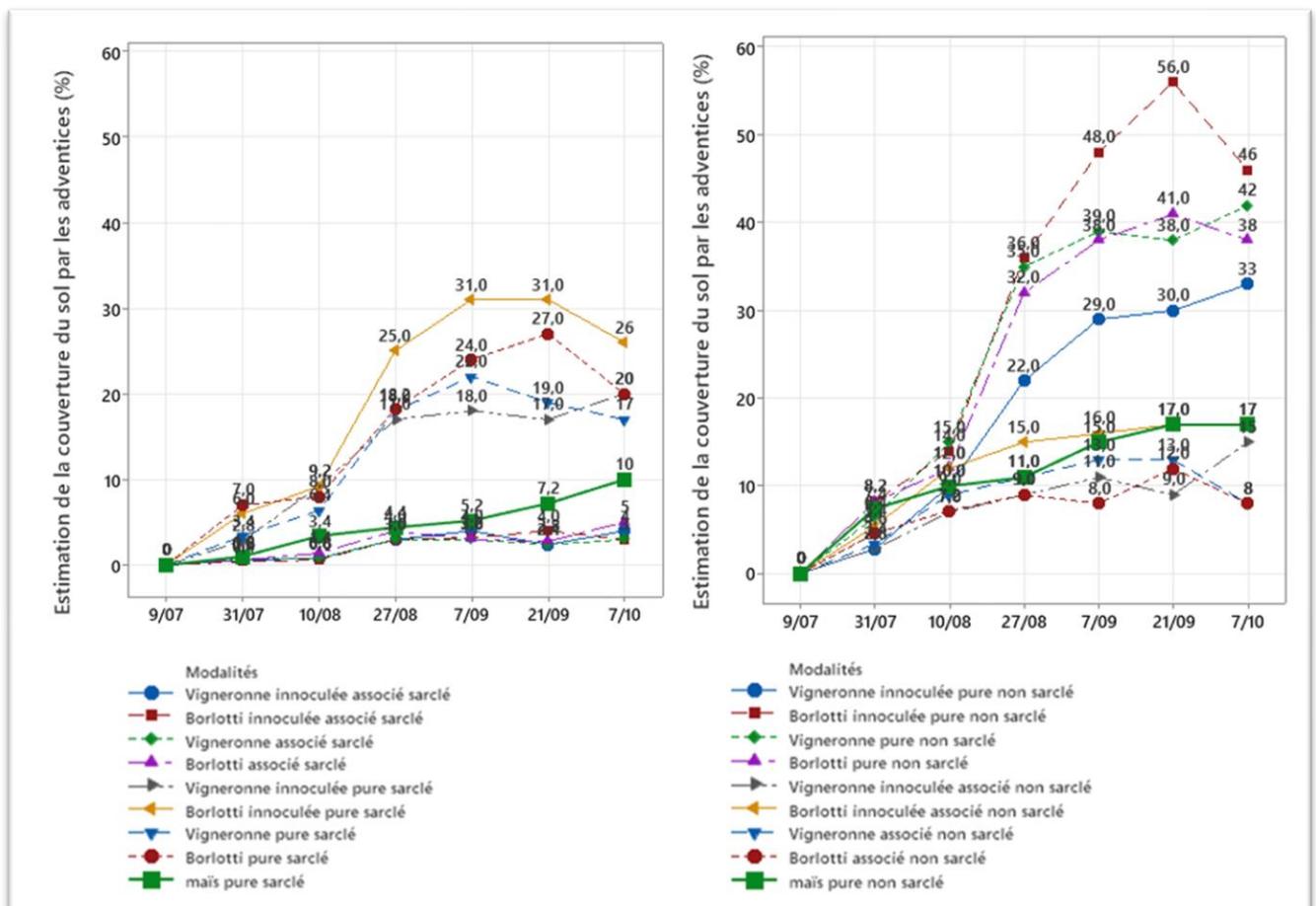
*Les données ne partageant aucune lettre sont statistiquement différentes*

Ces données montrent une tendance à être plus fortement envahi par les adventices, chez les haricots purs, et particulièrement en non-sarclé. En effet, toutes les valeurs

moyennes de densité d'adventices les plus importantes appartiennent à cette catégorie. Le 7 septembre, toutes les modalités de haricot pur, à l'exception de la Vigneronne inoculée sarclée, présentent une différence statistiquement significative au seuil de 0% avec les modalités en association (sauf Borlotto inoculé non-sarclé et Vigneronne non-sarclé) et le maïs pur sarclé. De plus, le 21 septembre, les modalités de haricot pur non-sarclées sont significativement différentes au seuil de 0% de toutes les modalités en association, ainsi que de celles en maïs pur.

A l'opposé, les modalités en association sarclée sont nettement moins envahies par les adventices que le reste des modalités, comme le montrent les valeurs les plus faibles de densités d'adventices, toutes obtenues par cette catégorie. Le 7 septembre, les 4 modalités de cultures associées sarclées, ainsi que le maïs pur sarclé, sont significativement différentes des modalités en culture pure (y compris le maïs pur non-sarclé). Et le 21 septembre, ces 4 modalités sont significativement différentes de toutes les autres modalités de l'essai (Tableau 6).

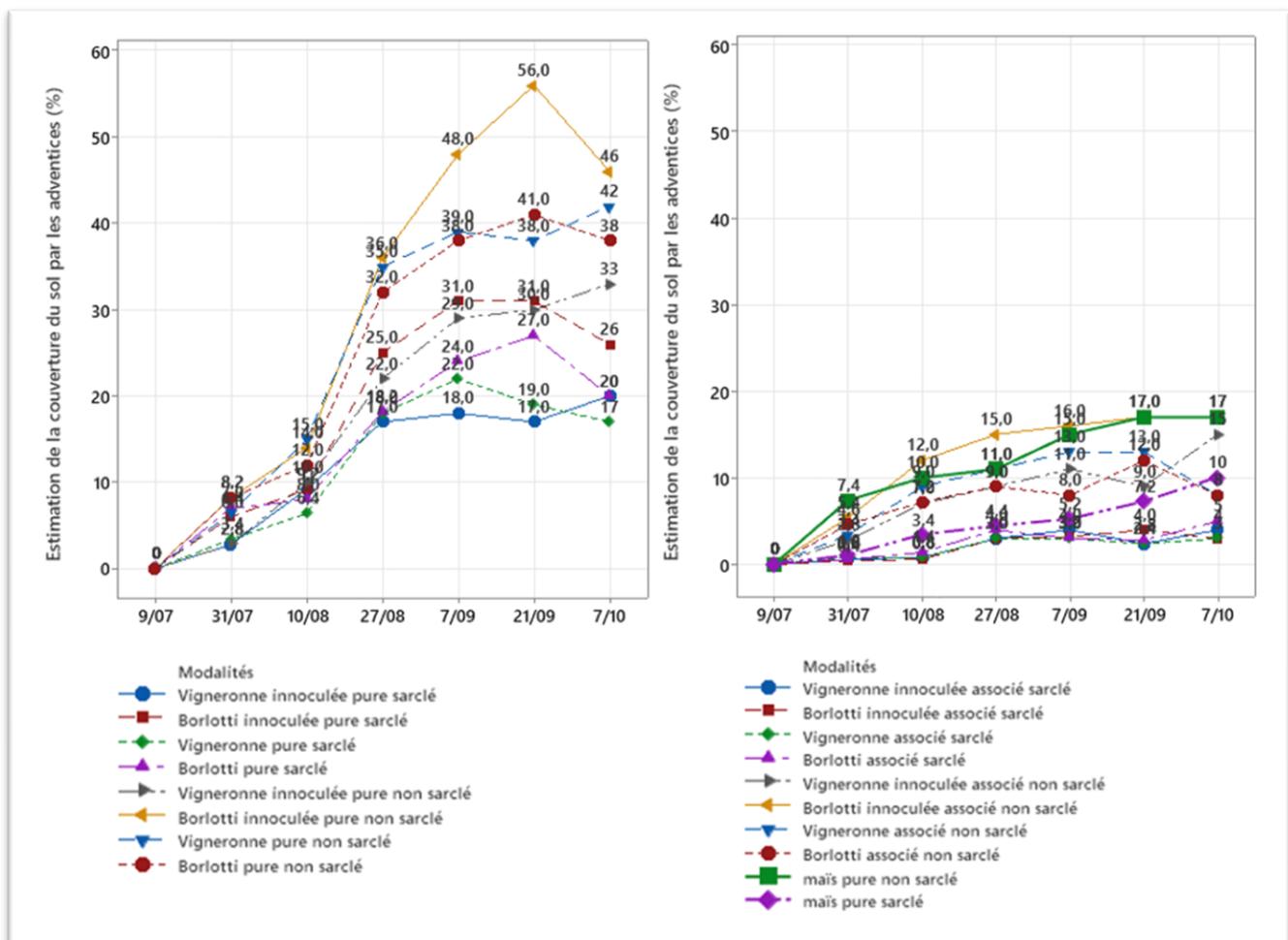
Dans les 2 panneaux de la Figure 13, les modalités sont clairement scindées en 2 groupes : les modalités en culture associée et celles en culture pure de haricot. Pour les



**Figure 13: Graphique de l'évolution de la surface de recouvrement par les adventices (%) aux 7 dates de relevés, au sein de l'essai sur l'association de culture de maïs et haricot, pour les modalités sarclées (à gauche) et non sarclées (à droite).**

modalités sarclées, les différences entre ces 2 groupes sont statistiquement significatives au seuil de 0% (le 7/09 et le 21/09). Pour le panneau des modalités non-sarclées, les différences entre cultures associées et haricots purs sont également statistiquement significative (le 7/09 et le 21/09), à l'exception de Vigneronne inoculée en pur, qui est néanmoins nettement supérieures aux cultures associées.

Le maïs pur est entre les 2 groupes pour les modalités sarclées et non-sarclées, mais se rapproche plus des modalités en association. Ses différences avec le groupe de cultures de haricots purs sont quasiment toutes statistiquement significatives (le 7/09 et le 21/09).



**Figure 14 : Graphique de l'évolution de la surface de recouvrement par les adventives (%), au sein de l'essai sur l'association de culture de maïs et haricot, aux 7 dates de relevés, pour les modalités en cultures pures (à gauche) et associées (à droite).**

Au sein des groupes les différences sont très infimes, l'exception de la modalité de haricot pur non-sarclée avec Vigneronne inoculée, qui possède une densité d'adventives sensiblement inférieure aux autres de son groupe, surtout le 21 septembre (Figure 13). Une différence entre les modalités sarclées et non-sarclées, bien que faible et non statistiquement significative, est également visible dans la Figure 13. Dans la Figure 14,

Étude de l'association de cultures maïs-haricot comme moyen de gestion des adventives, et impacts sur les rendements.

ces différences apparaissent légèrement plus marquées, bien que la modalité de haricots purs non-sarclés avec Vigneronne inoculée soit aussi proche des modalités de haricots purs sarclés que des non-sarclées. Pour les modalités en associations la faible densité d'adventices chez chacune d'entre elles rend la différence peu visible mais discernable.

### 5.1.3.2 *Discussion*

Les résultats de la surface de recouvrement par les adventices permettent d'affirmer que les cultures pures de haricots sont moins efficaces pour résister aux invasions d'adventices que les associations. Néanmoins il n'est pas possible de tirer le même constat avec les cultures pures de maïs.

La différence entre les cultures sarclées et non-sarclées, bien que légèrement moins flagrante, permet également de conclure que les sarclées ont une meilleure résistance aux adventices. Les modalités associées sarclées abritent une densité particulièrement faible d'adventices, grâce à l'effet du sarclage qui donne une avance aux cultures, et à la compétitivité supérieure des cultures associées, qui ne permettent plus le développement des adventices.

La variété Vigneronne semble permettre une meilleure résistance aux adventices, que Borlotto, principalement en culture pure. Ce qui laisse penser qu'en association l'effet est le même, mais les densités d'adventices sont trop faibles chez toutes les associations pour affirmer cette hypothèse.



**Image 10 : Aperçu de la couverture de sol, le 10 août (19 jours après le sarclage), pour la culture associée (à gauche) et de haricot purs (à droite) (photos Timothé Sonzogni).**

## 5.1.4 Comptage des adventices

### 5.1.4.1 Résultats

Le comptage du nombre d'adventices/m<sup>2</sup> est effectué 6 fois durant les 4 mois de culture, sur chacune des 90 UE, soit avec 5 répétitions pour les 18 modalités à 6 dates différentes. Le Tableau 7 contient les moyennes de ces relevés, avec en rouge les valeurs les plus faibles de chaque date, et en bleu les plus importantes. Deux analyses statistiques (ANOVA) sont effectuées, pour les dates avec le plus de différences (le 7/09 et le 21/09), les données ne partageant aucune lettre sont statistiquement différentes au seuil des p-valeurs correspondantes (Statistique en Annexe 10).

**Tableau 7: Moyennes des nombre d'adventices/m<sup>2</sup>, au sein de l'essai sur l'association de culture de maïs et haricot, aux 6 dates de relevés.**

Modalités		31/07	10/08	27/08	7/09	21/09	7/10
Association sarclée	Vigeronne inoculée	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>	0,3 H	0,6 F	0,8
	Borlotto inoculé	0,3	0,3	0,4	0,4 FGH	0,6 F	0,5
	Vigeronne	0,3	0,5	0,4	0,4 GH	<b>0,3</b> F	<b>0,4</b>
	Borlotto	0,3	0,3	0,3	<b>0,2</b> H	0,6 F	0,5
Haricot pur sarclé	Vigeronne inoculée	0,7	1,0	0,9	0,7 EFG	1,1 EF	1,0
	Borlotto inoculé	1,0	1,5	1,8	1,7 BCD	2,0 BCD	1,9
	Vigeronne	0,7	0,9	1,1	1,0 DE	1,2 DEF	1,8
	Borlotto	0,6	0,5	1,1	1,2 CDE	1,8 CDE	2,1
Haricot pur non-sarclé	Vigeronne inoculée	1,2	1,4	1,9	1,9 BC	1,8 CDE	2,1
	Borlotto inoculé	2,6	2,3	<b>2,9</b>	<b>2,9</b> A	<b>3,1</b> A	<b>3,0</b>
	Vigeronne	1,9	1,8	2,1	2,1 AB	2,4 ABC	2,6
	Borlotto	2,1	1,8	1,9	2,1 AB	2,2 BC	2,1
Association non-sarclée	Vigeronne inoculée	1,5	2,2	1,3	1,1 DE	1,6 CDE	1,7
	Borlotto inoculé	2,4	2,5	2,5	2,1 AB	2,7 AB	2,0
	Vigeronne	2,0	2,5	1,9	1,6 BCD	1,9 BCDE	1,4
	Borlotto	1,4	2,1	1,6	1,2 CDE	1,9 BCDE	1,4
Maïs pur	Non-sarclé	<b>3,3</b>	<b>2,6</b>	2,0	2,1 AB	2,4 ABC	2,8
	Sarclé	1,1	1,1	0,9	1,0 EF	1,8 CDE	1,7
P-valeur		-	-	-	0	0	-

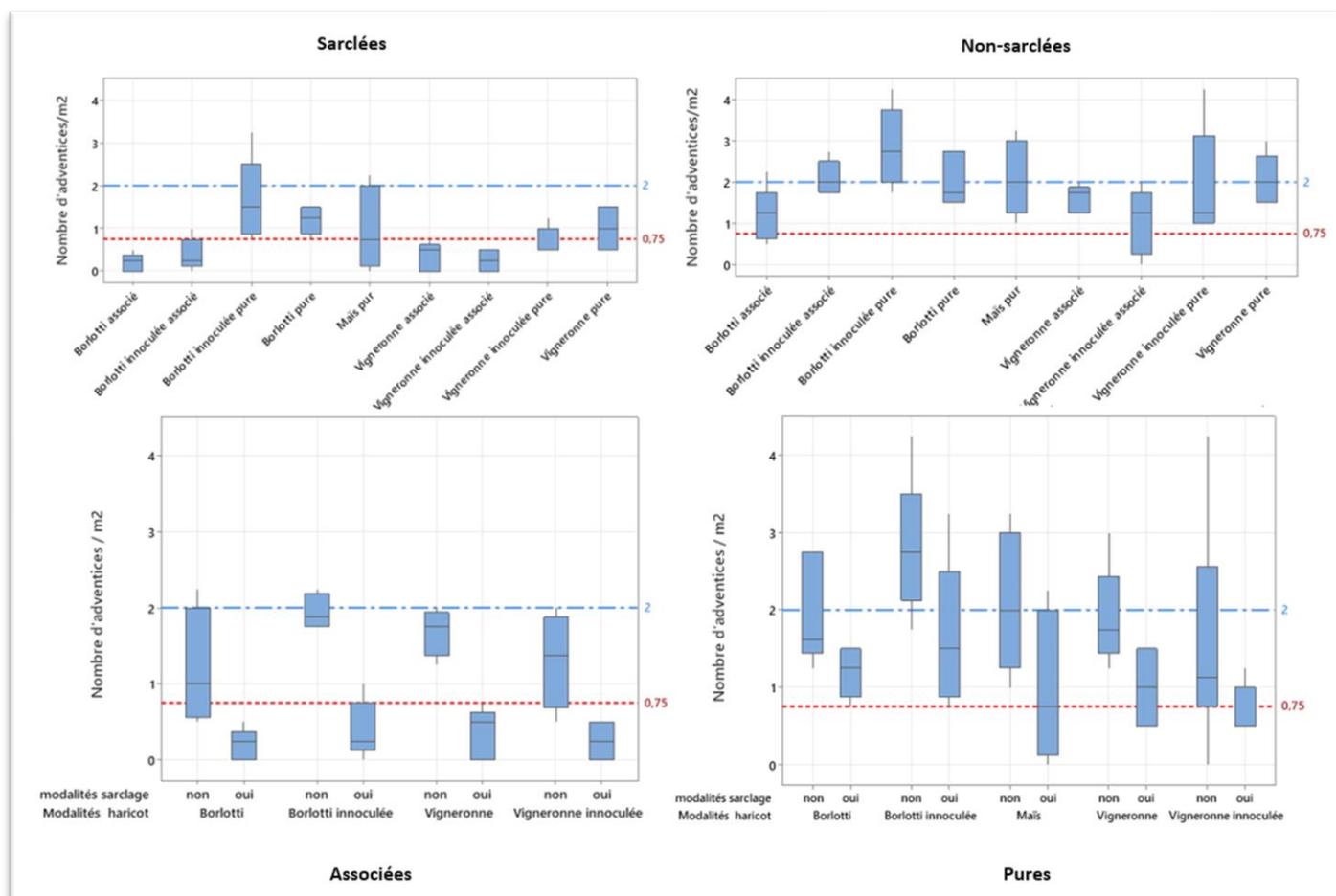
Les données sont les moyennes de 5 répétitions

Les données ne partageant aucune lettre sont statistiquement différentes

Les données du Tableau 7 semblent montrer des différences entre 3 groupes, du plus petit nombre d'adventices au plus grand : les modalités en association sarclée, celles en culture pure sarclée (y compris le maïs pur sarclé) et en association non-sarclée, et celles en culture pure non-sarclée (y compris le maïs pur non-sarclé). La modalité avec

Étude de l'association de cultures maïs-haricot comme moyen de gestion des adventices, et impacts sur les rendements.

le moins d'adventices/m<sup>2</sup> est une association sarclée, et probablement celle avec Vigneronne, mais les différences au sein de ce groupe sont infimes. La modalité avec le plus d'adventices/m<sup>2</sup> est la culture pure non-sarclée, avec Borlotto inoculé, mais suivit de près par les autres modalités de son groupe, et particulièrement celle de maïs pur. Les différences entre ces groupes sont plus visibles sur la Figure 15 et Annexe 11



**Figure 15: Boîtes à moustaches du comptage des adventices/m<sup>2</sup> au sein de l'essai sur l'association de culture de maïs et haricot, lors du relevé du 7 septembre, pour les modalités sarclées, non-sarclées, associées et pures. Avec lignes de références correspondant à la médiane du maïs pur non sarclé (2) et sarclé (0,75).**

Lors du relevé du 7 septembre, le groupe des modalités associées sarclées se démarque clairement des autres, comme on le voit sur les panneaux « Sarclées » et « Associées » de la Figure 15. La quasi-totalité des données de ces modalités sont inférieures à la médiane du maïs pur sarclé (sauf un quartile de Borlotto inoculé), cette différence avec le reste des modalités est statistiquement significative, excepté pour Borlotto inoculé, qui ne se distingue pas du maïs pur sarclé.

Le 2<sup>ème</sup> groupe, celui des cultures pures sarclées et des associations non-sarclées, se distingue donc parfaitement du 1<sup>er</sup> (panneau « Sarclées »), mais sa différence avec le

groupe des modalités pures non-sarclées est moins marquée. Cette différence est visible à l'aide des médianes des modalités de maïs pur, le 2<sup>ème</sup> groupe contient la médiane du maïs pur sarclé (ce dernier appartient bien au 2<sup>ème</sup> groupe), et est inférieur au maïs pur non-sarclé.

Le 3<sup>ème</sup> groupe, celui des modalités pures non-sarclées, se distingue des autres groupes du fait que ses modalités contiennent toutes la médiane du maïs pur non-sarclé (ce dernier appartient bien au 3<sup>ème</sup> groupe), et que seule la Vigneronne inoculée touche la médiane du maïs pur sarclé de son premier quartile. Les 3 autres modalités de ce groupe se distinguent, de façon statistiquement significative, de la quasi-totalité des autres modalités (sauf Borlotto inoculé en pur sarclé et en associé non-sarclé).

Lors de ce 4<sup>ème</sup> relevé, les modalités se classent donc bien en 3 groupes : Les cultures associées sarclées, inférieures à la médiane de maïs pur sarclé ; Les cultures pures sarclées et associées non-sarclées, qui sont similaires au maïs pur sarclé ; Et les cultures pures non-sarclées, similaires au maïs pur non sarclé (Figure 15).

Au sein des groupes, les modalités sont difficilement différenciables. Nous pouvons tout de fois noter qu'il y a plus de différences entre les modalités sarclées et non-sarclées, qu'entre les modalités associées et pures. Ces différences sont statistiquement significatives entre la plupart des couples de modalités (par exemple Vigneronne pure non-sarclée possède un plus grand nombre d'adventices/m<sup>2</sup> que Vigneronne pure sarclée, cette différence est statistiquement significative). Il faut tout de fois noter que les modalités associées abritent un moins grand nombre d'adventices que les modalités pures (bien que ces différences soient rarement significatives). De plus, les différences entre sarclées et non-sarclées sont nettement plus visibles au sein des cultures associées que des cultures pures, et celles entre associations et monocultures se voient mieux au sein des cultures sarclées.

Les modalités de Borlotto inoculé non-sarclé (en pur comme en association) ont les valeurs les plus importantes, suivit de peu par le maïs pur non-sarclé. Ces différences ne sont néanmoins pas significatives avec la plupart des autres modalités, seul Borlotto inoculé en pur non-sarclé se distingue de la quasi-totalité du reste de l'essai (Tableau 7).

Le 21 septembre les différences entre les groupes sont encore plus faibles. Seules les modalités en associations sarclées se distinguent du reste, et ces différences sont statistiquement significatives avec toutes les autres modalités, excepté les modalités de Vigneronne et Vigneronne inoculée en culture pure sarclée (Boîtes à moustaches en Annexe 11).

Le graphique des évolutions (Figure 16) montre ce qui a été vu plus haut : Des différences marquées entre les modalités sarclées et non-sarclées, avec 3 groupes

visibles. Les modalités associées sarclées sont celles qui possèdent le moins d'adventices, suivit par les pures sarclées et les associations non-sarclées, le dernier groupe est celui des modalités pures non-sarclées. Le maïs pur encadre les modalités en association non-sarclée, avec sa modalité sarclée en dessous et la non-sarclée au sommet, tout juste en dessous de Borlotto inoculé pur non-sarclé.

#### 5.1.4.2 Discussion

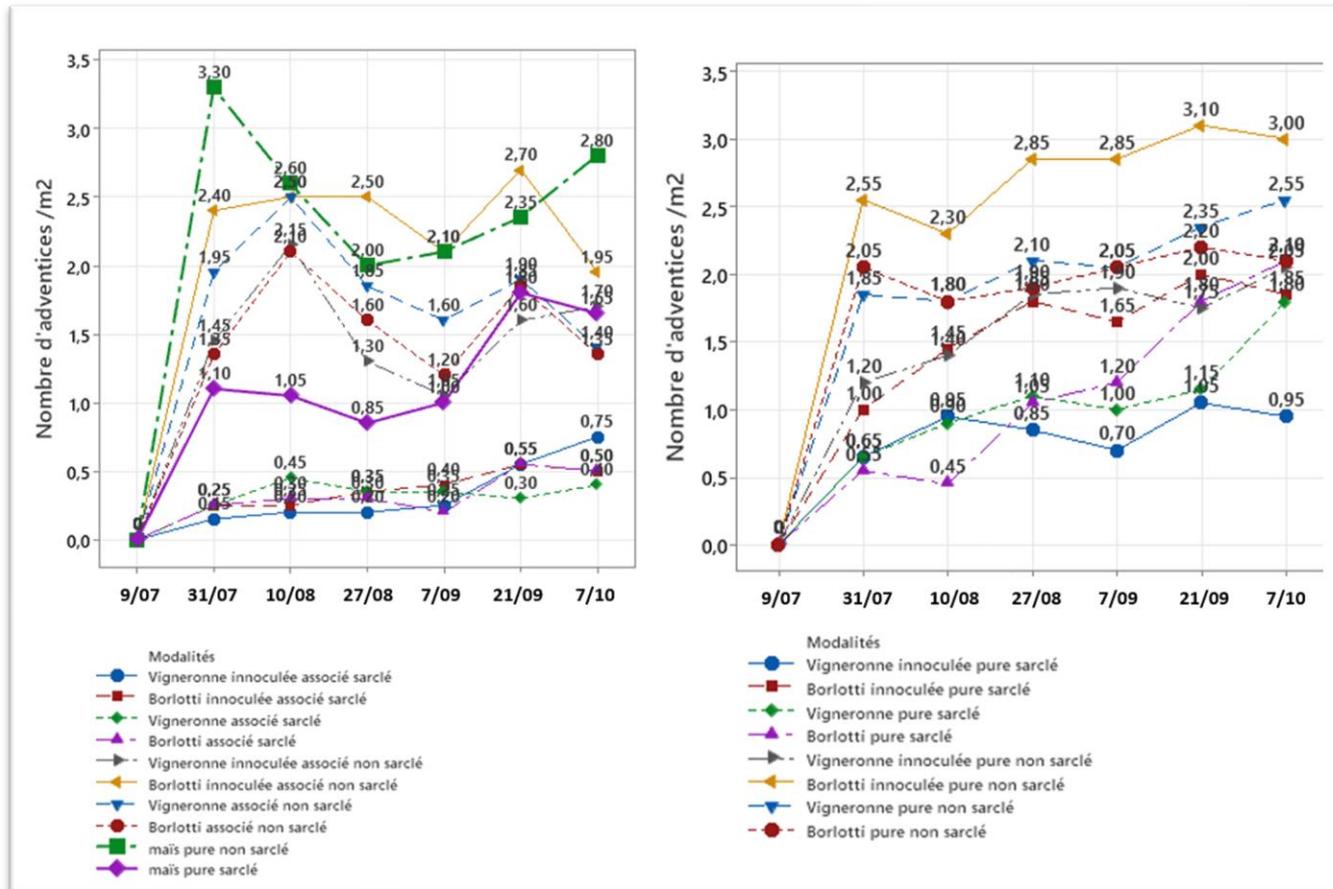


Figure 16: Graphique de l'évolution du nombre d'adventices/m<sup>2</sup> au sein de l'essai sur l'association de culture de maïs et haricot, aux 7 dates de relevé, pour les modalités en

Les résultats obtenus pour le nombre d'adventices nous permettent largement d'affirmer que les cultures sarclées ont moins d'adventices que les cultures non-sarclées. Ce qui semble assez logique, étant donné que c'est là l'utilité même du sarclage. Il est cependant intéressant de voir que l'efficacité de ce dernier est plus importante pour les cultures associées sarclées que les monocultures, car cela montre que les cultures associées ne s'affranchissent pas du sarclage mais optimisent cette méthode de lutte.

La différence entre les modalités associées et les modalités pures est également bien visible, spécialement entre les cultures pures sarclées et associées sarclées. Le maïs

pur sarclé est également bien plus envahi d'adventices que les associations sarclées. Nous pouvons donc affirmer que la différence du nombre d'adventices est due à l'association. La compétitivité accrue des cultures associées montre ainsi que son effet limite également le nombre d'adventices, en plus d'entraver leurs développements. Ces résultats ne permettent en revanche pas de se prononcer sur une différence d'efficacité entre les variétés, car seul Borlotto inoculé se distingue des autres, et cette différence est plus probablement due à une hétérogénéité du terrain, comme le passage des roues de tracteur sur les 3 rangs de Borlotto inoculé (Figure 12).



**Image 11: : Aperçus de la couverture du sol et de la quantité d'adventices, pour la culture pure de Vigneronne inoculée (à gauche) et sa culture associée (à droite), le 21 septembre (date avec le plus d'adventices) (photos Timothé Sonzogni).**

## 5.1.5 Détermination des adventices principales

### 5.1.5.1 Résultats

Pour chacune des 18 modalités et leurs 5 répétitions, lors des 6 derniers relevés, 11 adventices dominantes ont été identifiées, en fonction de la surface qu'elles recouvraient (Tableau 8). Ce qui fait 90 adventices principales déterminées (parmi la liste des 11) à 6 dates différentes. Le Tableau 9 présente les modes de chacune des 5 répétitions. Aucune analyse statistique a été effectuée pour ces données, car ce sont des variables qualitatives, elles sont uniquement comparées graphiquement.

**Tableau 8: liste des adventices principales présentes au sein de l'essai sur l'association de culture de maïs et haricot**

Adventices principales	
1	<i>Polygonum persicaria</i>
2	<i>Chenopodium polyspermum</i>
3	<i>Convolvulus arvensis</i>
4	<i>Chenopodium album</i>
5	<i>Amaranthus blitum</i>
6	<i>Panicum capillare</i>
7	<i>Stellaria media</i>
8	<i>Equisetum arvense</i>
9	<i>Sonchus asper</i>
10	<i>Amaranthus retroflexus</i>
11	<i>Medicago sativa</i>

Les numéros de 1 à 11 correspondent chacun à une des adventices principales de l'essai. Le 0 signifie qu'il n'y a pas d'adventices dans l'UE, et #N/A signifie que le mode ne peut pas être calculé (aucune adventice domine plusieurs répétitions).

Dans le Tableau 9, les données montrent que l'adventice n°6 : panique capillaire (*Panicum capillare*) et l'adventice n°2 : chénopode polysperme (*Chenopodium polyspermum*), sont les adventices qui dominent dans la majorité des UE de cet essai. Nous pouvons noter également que les modalités en association sarclées possèdent plusieurs fois la valeur « 0 », qui signifie que la majorité de leurs répétitions ne contiennent aucune adventice, néanmoins aux 2 dernières dates de relevé seule la modalité Borlotto inoculé a une valeur de 0.

Enfin ce tableau permet de différencier les modalités en culture pure, qui sont en majorité dominées par la panique capillaire (*Panicum capillare*), des modalités en culture associée où le chénopode polysperme (*Chenopodium polyspermum*) est plus répandu.

**Tableau 9: Modes des adventices principales présentes au sein de l'essai sur l'association de culture de maïs et haricot, pour chacune des 18 modalités (associations et cultures pures)**

Modalités		31/07	10/08	27/08	7/09	21/09	7/10
Association sarclée	Vigeneronne inoculée	0	#N/A	0	0	2	#N/A
	Borlotto inoculé	0	2	0	2	0	0
	Vigeneronne	2	2	2	2	#N/A	2
	Borlotto	0	0	0	0	2	10
Haricot pur sarclé	Vigeneronne inoculée	6	6	6	6	6	6
	Borlotto inoculé	0	2	1	1	6	#N/A
	Vigeneronne	#N/A	#N/A	6	#N/A	#N/A	5
	Borlotto	0	0	#N/A	#N/A	9	9
Haricot pur non-sarclé	Vigeneronne inoculée	6	6	6	6	6	6
	Borlotto inoculé	4	4	6	6	6	6
	Vigeneronne	6	6	6	6	6	1
	Borlotto	6	6	6	6	6	1
Association non-sarclée	Vigeneronne inoculée	4	4	6	6	2	2
	Borlotto inoculé	1	1	4	4	6	1
	Vigeneronne	#N/A	#N/A	1	1	#N/A	4
	Borlotto	#N/A	#N/A	6	2	2	5
Maïs pur	Non-sarclé	6	6	1	#N/A	2	2
	Sarclé	#N/A	6	1	2	2	#N/A

Les données de ce tableau sont les modes issus de 5 répétitions. Elles correspondent aux adventices de la liste ci-dessus (Tableau 8).

Sur la Figure 17, nous pouvons observer l'évolution des adventices, avec pour près d'un tiers des modalités, la valeur 0 (majorité de aucune adventice dans les répétitions) lors du premier relevé, contre 5,9% de 0 lors du dernier relevé.

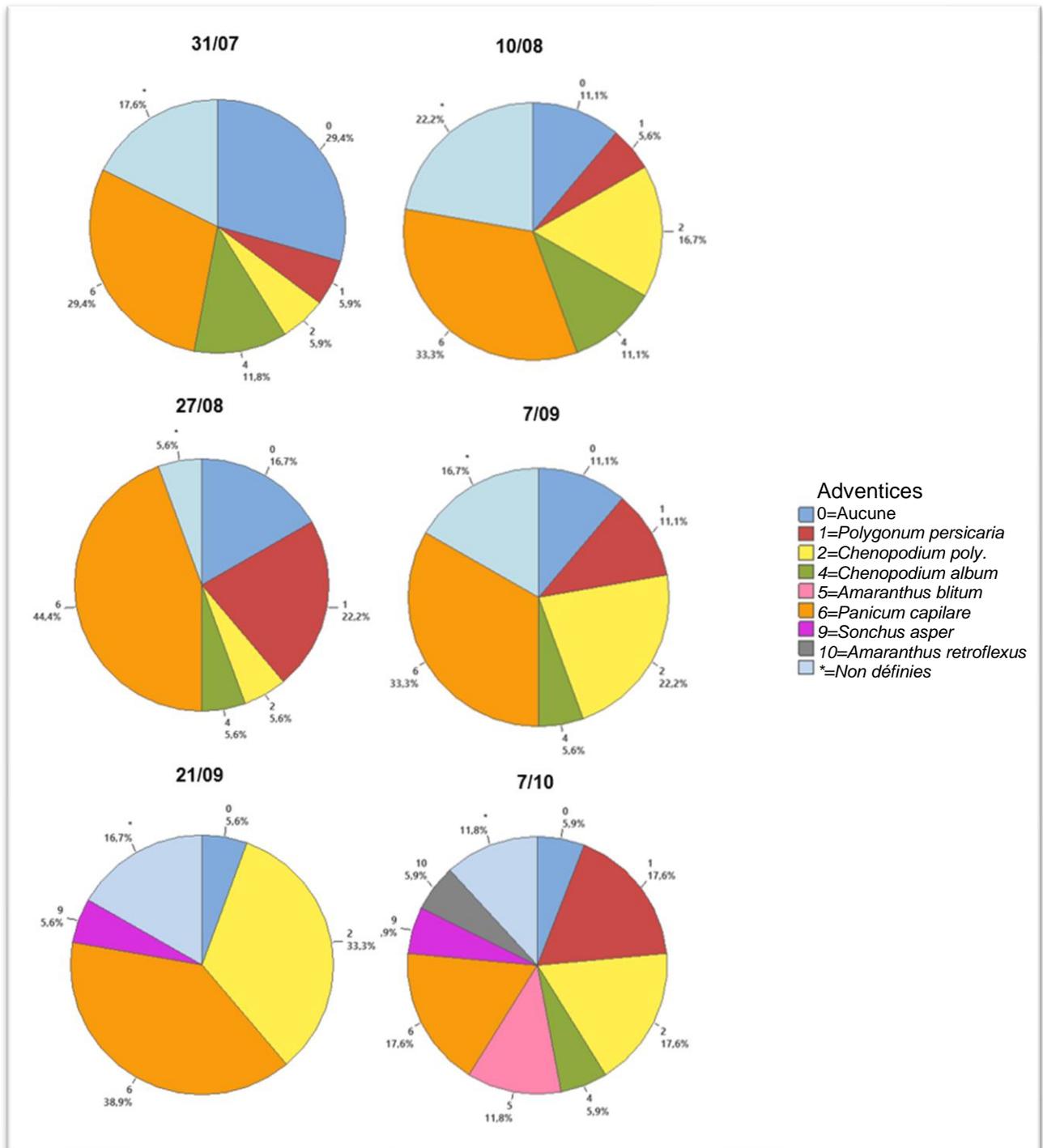
Plusieurs adventices deviennent principales au cours des relevés. Le 31 juillet seules 4 adventices principales différentes sont présentes, alors que le 7 octobre ce sont 7 espèces d'avertices qui dominent au sein des 18 modalités.

#### 5.1.5.2 Discussion

Les conclusions les plus fiables qui peuvent être tirées de ces données sont la diminution du nombre d'UE sans adventices au cours de l'évolution de la culture, qui semble d'ailleurs logique, et le nombre d'UE sans adventices parmi les associations sarclées, dues à la meilleure gestion des adventices par ces 4 modalités.

La forte domination de la Panique capillaire (6) dans les zones de haricot pur, alors que dans les associations et cultures pures de maïs elles sont rares. Ce sont plutôt les Chénopodes qui dominent (2 et 4) ainsi que la Renouée persicaire (1) et quelques Amarantes (5 et 10). Cette différence pourrait signifier que les graminées sont plus Étude de l'association de cultures maïs-haricot comme moyen de gestion des adventices, et impactes sur les rendements.

adaptées à coloniser des cultures de haricots, alors que les adventices à grosse graine (Amaranthacées et Polygonacées) sont plus adaptées aux cultures de maïs et associations. Cependant cette variation pourrait être due uniquement au stock semencier des zones, mais il est plus probable que le stock soit homogène sur la parcelle et que son expression ait été modifiée par les différentes cultures.



**Figure 17: Graphiques en secteurs des modes des adventices principales présentes au sein de l'essai sur l'association de culture de maïs et haricot, à chacune des 6 dates de relevé**

### **5.1.6 Discussion générale du suivi de culture**

Les données relevées durant le suivi de culture nous permettent d'affirmer que les associations de cultures engendrent une meilleure gestion des adventices. Ce en couvrant mieux le sol, et plus vite, s'accaparant ainsi une plus grande part des ressources (Olorunmaiye 2010). Ces résultats montrent également que cet objectif est mieux atteint par les associations sarclées, et que l'amélioration de la lutte contre les adventices apportée par le sarclage est d'autant plus efficace, pour les cultures associées, que pour les monocultures. Ce qui confirme les dires de Lithourgidis et al. (2011), selon qui l'association est bien une mesure additionnelle au sarclage, et non une alternative.

Au niveau des variétés de haricots, la Vigneronne obtient des bien meilleurs résultats en couverture de sol par la culture, et des densités plus faibles d'adventices et de sol nu. Cet avantage est dû à la forte compétitivité de cette dernière, qui couvre plus vite le sol exploite plus efficacement les ressources du milieu (surtout les radiations solaires), étouffant ainsi les adventices (Tsubo et al. 2001). Cette forte compétitivité de Vigneronne devrait induire une augmentation du LER, si la concurrence ne limite pas les rendements en maïs. De plus, une bonne efficacité de l'inoculant sur la variété Vigneronne semble visible, en termes de croissance de la plante et de couverture de sol. Le travail conjoint effectué par Sonzogni (2021) a également remarqué une meilleure activation des nodules des haricots inoculés. Cette symbiose devrait permettre d'éviter la concurrence entre les 2 cultures (pour l'azote), et garantir ainsi une meilleure utilisation des ressources. Cependant, cette hypothèse ne peut malheureusement pas être affirmée en raison de la mauvaise randomisation de notre essai (la bande Vigneronne normale pourrait être altérée par les roues du tracteur).

Un dernier point intéressant est la répartition des différentes adventices sur notre essai. En effet, une distinction claire peut être faite entre la panique capillaire dans les cultures pures de haricots, les chénopodes polyspermes au sein des monocultures de maïs, et un mélange beaucoup plus diversifié dans les cultures associées. Cette diversité d'adventices au sein des associations montre la difficulté plus importante pour les adventices de proliférer dans un tel milieu, et suggère un meilleur contrôle sur le long terme (les adventices sont moins nocives pour le rendement lorsqu'elles sont diversifiées) (Cordeau et al. 2020).

## 5.2 Mesures post-récolte

### 5.2.1 Biomasses des parties aériennes

#### 5.2.1.1 Résultats

Les biomasses des parties aériennes des cultures (de maïs et de haricots) et des adventices sont prélevées lors de la récolte sur les 18 modalités avec 5 répétitions, soit 90 prélèvements de culture et 90 d'adventices (un de chaque par UE). Le Tableau 10 présente les moyennes de ces données, avec en rouge les valeurs les plus élevées de chaque facteur, et en bleu les plus faibles. Une analyse statistique (ANOVA) est effectuée pour chacun des deux facteurs, les modalités ne partageant aucune lettre possèdent des différences statistiquement significatives au seuil des p-valeur correspondantes (Statistiques en Annexe 12).

**Tableau 10: Moyennes des biomasses des cultures (maïs + haricots) et des biomasses des adventices (kg de MS/ha), au sein de l'essai sur l'association de culture de maïs et haricot**

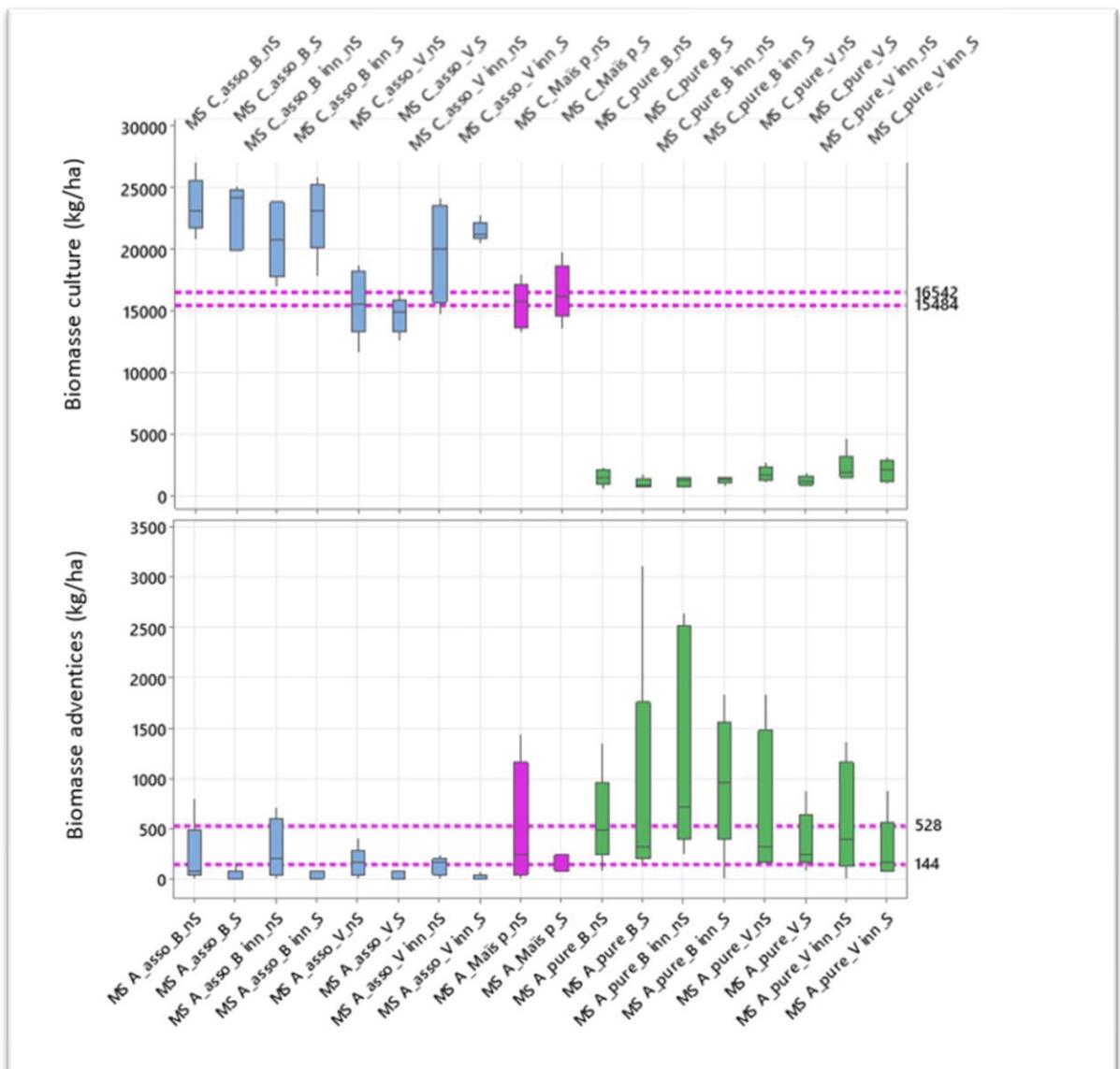
Modalités		MS Maïs + Haricots (kg/ha)	MS Adventices (kg/ha)
Association sarclée	Vigneronne inoculée	21497 AB	<b>16</b> E
	Borlotto inoculé	22798 A	48 CDE
	Vigneronne	14685 C	32 DE
	Borlotto	22781 A	32 E
Haricot pur sarclé	Vigneronne inoculée	2054 DE	288 AB
	Borlotto inoculé	1329 EFG	976 AB
	Vigneronne	1265 EFG	368 AB
	Borlotto	<b>1053</b> G	848 AB
Haricot pur non-sarclé	Vigneronne inoculée	2312 D	592 AB
	Borlotto inoculé	1153 FG	<b>1312</b> A
	Vigneronne	1836 DEF	720 AB
	Borlotto	1579 DEFG	576 AB
Association non- sarclée	Vigneronne inoculée	19730 B	128 BCD
	Borlotto inoculé	20807 AB	296 ABC
	Vigneronne	15716 C	160 BC
	Borlotto	<b>23520</b> A	224 BC
Maïs pur	Non-sarclé	15484 C	528 ABC
	Sarclé	16542 C	144 ABC
P-valeur		0	0,0000034

Les données de ce tableau sont les moyennes de 5 répétitions

Les données ne partageant aucune lettre sont statistiquement différentes

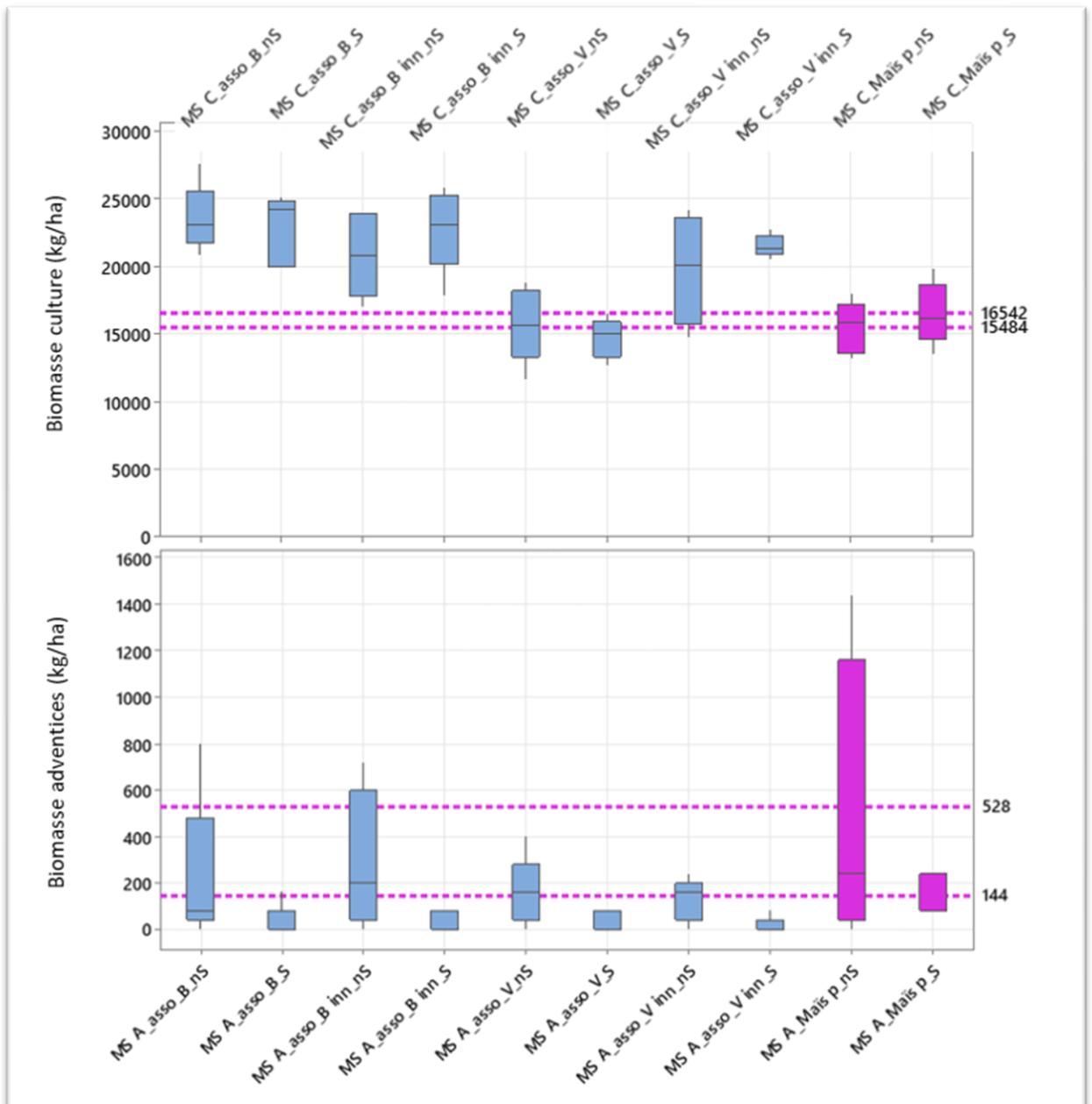
Le premier point est la différence énorme de biomasse des cultures entre les cultures pures de haricots et les 10 autres modalités, cette différence est statistiquement significative au seuil de 0%. Nous pouvons également voir clairement cette différence sur la Figure 18.

Les biomasses des adventices pour les haricots purs sont nettement supérieures à celles des cultures associées sarclées (différences statistiquement significatives), car elles sont toutes supérieures à la moyenne du maïs pur sarclé (144 kg/ha), alors que les modalités associées sarclées sont toutes en dessous. La différence entre haricots purs et associations non-sarclées est également visible mais elle n'est pas statistiquement significative.



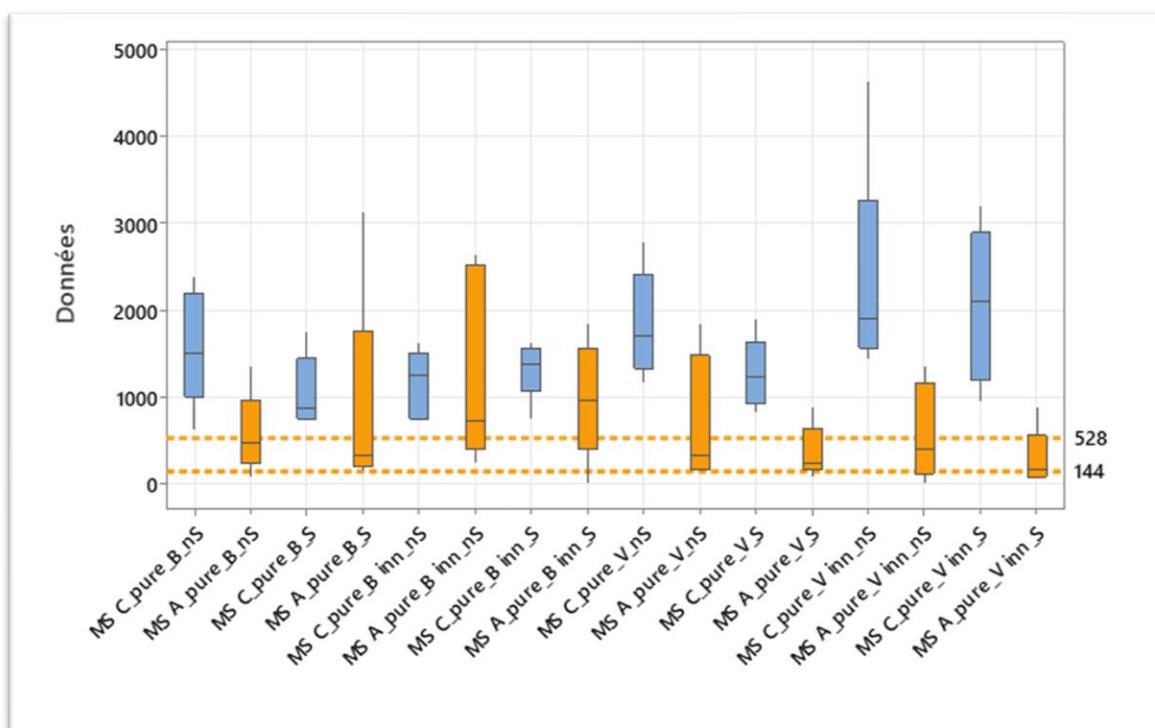
**Figure 18 : Boîtes à moustaches des biomasses des parties aériennes des cultures et des adventices, au sein de l'essai sur l'association de culture de maïs et haricot, pour les 18 modalités, avec 4 lignes de références correspondant aux moyennes des valeurs en maïs pur.**

Sur la Figure 19, les différences entre cultures associées et maïs pur sont observables plus aisément. Pour la biomasse des cultures, la majorité des associations sont clairement supérieures aux modalités de maïs pur, car toutes leurs mesures sont au-dessus des moyennes de maïs pur (16542 et 15484). Seules les associations avec Vigneronne (sarclée et non-sarclée) sont similaires aux maïs purs, les autres sont toutes statistiquement supérieures (Tableau 10).



**Figure 19: Boîtes à moustaches des biomasses des parties aériennes des cultures et des adventices, pour les modalités en cultures associées de maïs et de haricot, avec 4 lignes de références correspondant aux moyennes des valeurs en maïs pur.**

Pour la biomasse des adventices, seules les modalités associées sarclées se distinguent statistiquement des autres (à l'exception de Borlotto inoculée sarclée), toutes les autres valeurs n'ont pas de différence statistiquement significative. Ce qui n'empêche pas que les associations non-sarclées aient une différence, observable graphiquement sur la Figure 19, avec le maïs pur non-sarclé. De même pour les différences au sein des modalités de haricots purs, qui ne sont pas significatives statistiquement, mais sont observable sur la Figure 20. En effet, les modalités Vigneronne inoculée pure sarclée et Vigneronne pure sarclée ont clairement une biomasse d'adventices plus faible que les autres modalités pures. Pour les biomasses des cultures, ce sont Vigneronne inoculée pure non-sarclée et sarclée qui dominent les autres.



**Figure 20: Boîtes à moustaches des biomasses des cultures (en bleu) et des adventices (en orange), pour les modalités de haricots purs, au sein de l'essai sur l'association de culture de maïs et haricot**

### 5.2.1.2 Discussion

Les résultats obtenus nous permettent d'affirmer sans risque que les cultures associées et le maïs pur produisent plus de biomasse (des cultures) que les cultures pures de haricots. Il est également clair que les associations abritent une biomasse d'adventices inférieure aux cultures pures de haricots. Nous pouvons donc supposer que cette production supérieure de biomasse, par les cultures associées, est la cause de la production inférieure de leurs adventices, comme le suggérait l'hypothèse de ce travail (cf. § 3.1). L'utilisation optimale des ressources par la culture empêcherait le

Étude de l'association de cultures maïs–haricot comme moyen de gestion des adventices, et impacts sur les rendements.

développement des adventices, en augmentant sa propre biomasse. De même pour la différence entre les associations et le maïs pur, bien que moins marquée qu'avec les haricots purs, ce qui nous permet d'affirmer que les associations produisent plus de biomasse (de culture) et abritent moins d'adventices.

La variété Vigneronne en association (surtout en non inoculée) a produit une biomasse de culture moins importante que Borlotto, ce qui semble contradictoire car sa biomasse d'adventices est tout aussi faible que les autres associations. De plus, en culture de haricot pure ce sont les variétés Vigneronne qui ont produit le plus de biomasse. Il se peut que cette différence soit due à une erreur lors du séchage des biomasses des cultures en association : en effet les haricots Borlotti étant plus précoces (Tableau 3), ils étaient moins humides lors de la récolte et ont été séchés au four moins longtemps (cf. § 4.5). Le taux de MS des cultures associées avec Borlotto a pu ainsi être faussé (car le maïs de ces échantillons a du mal sécher), et augmenter les biomasses de ces modalités. La différence entre Vigneronne inoculée et normale, elle, peut être due à l'efficacité de l'inoculant, ou à l'hétérogénéité du terrain entre les différents rangs de semis (passage du tracteur Figure 13).

Enfin, les biomasses prélevées permettent d'affirmer l'efficacité du sarclage pour le contrôle des adventices, mais ne montrent pas de différences au niveau de la biomasse des cultures. Ce qui laisse penser que le sarclage régule la croissance des adventices mais ne rend pas plus de ressources disponibles pour la culture. C'est essentiellement un travail pour empêcher le stock semencier de s'amplifier, et garantir des bonnes conditions les prochaines années.

## 5.2.2 Rendement en grains

### 5.2.2.1 Résultats

Les rendements en grains des cultures de haricots et de maïs sont prélevés lors de la récolte sur les 18 modalités avec 5 répétitions, soit 80 prélèvements de haricots et 50 de maïs (un de chaque par UE, sauf pour les cultures pures où seul 1 prélèvement est effectué). Le Tableau 11 présente les moyennes de ces données, avec en rouge les valeurs les plus élevées de chaque facteur, et en bleu les plus faibles. Une analyse statistique (ANOVA) est effectuée pour chacun des deux facteurs, les modalités ne partageant aucune lettre possèdent des différences statistiquement significatives au seuil des p-valeur correspondantes (Statistiques en Annexe 13).

**Tableau 11: Moyennes des rendements en grains des cultures de haricots et de maïs (kg/ha), au sein de l'essai en cultures associées**

Modalités		Rendement Haricots (kg/ha)	Rendement Maïs (kg/ha)	
Association sarclée	Vigneronne inoculée	501 EFG	<b>9986</b> A	
	Borlotto inoculé	<b>156</b> H	8417 B	
	Vigneronne	349 FGH	<b>4981</b> D	
	Borlotto	199 GH	8183 B	
Haricot pur sarclé	Vigneronne inoculée	1238 AB		
	Borlotto inoculé	638 DEF		
	Vigneronne	915 BCD		
	Borlotto	653 DEF		
Haricot pur non-sarclé	Vigneronne inoculée	<b>1293</b> A		
	Borlotto inoculé	582 DEF		
	Vigneronne	1175 ABC		
	Borlotto	857 CD		
Association non-sarclée	Vigneronne inoculée	691 DE		8068 B
	Borlotto inoculé	181 GH		7231 BC
	Vigneronne	352 EFGH		6240 CD
	Borlotto	323 FGH		8132 B
Maïs pur	Non-sarclé		7662 B	
	Sarclé		7777 B	
P-valeur		0	0,0000012	

Les données de ce tableau sont les moyennes de 5 répétitions

Les données ne partageant aucune lettre sont statistiquement différentes

Le Tableau 11 ci-dessus montre principalement des différences entre les modalités de variétés et d'associations. Pour le sarclage, seul le rendement en maïs de la Vigneronne inoculée possède une différence statistiquement significative entre sarclée et non-sarclée.

Étude de l'association de cultures maïs–haricot comme moyen de gestion des adventices, et impacts sur les rendements.

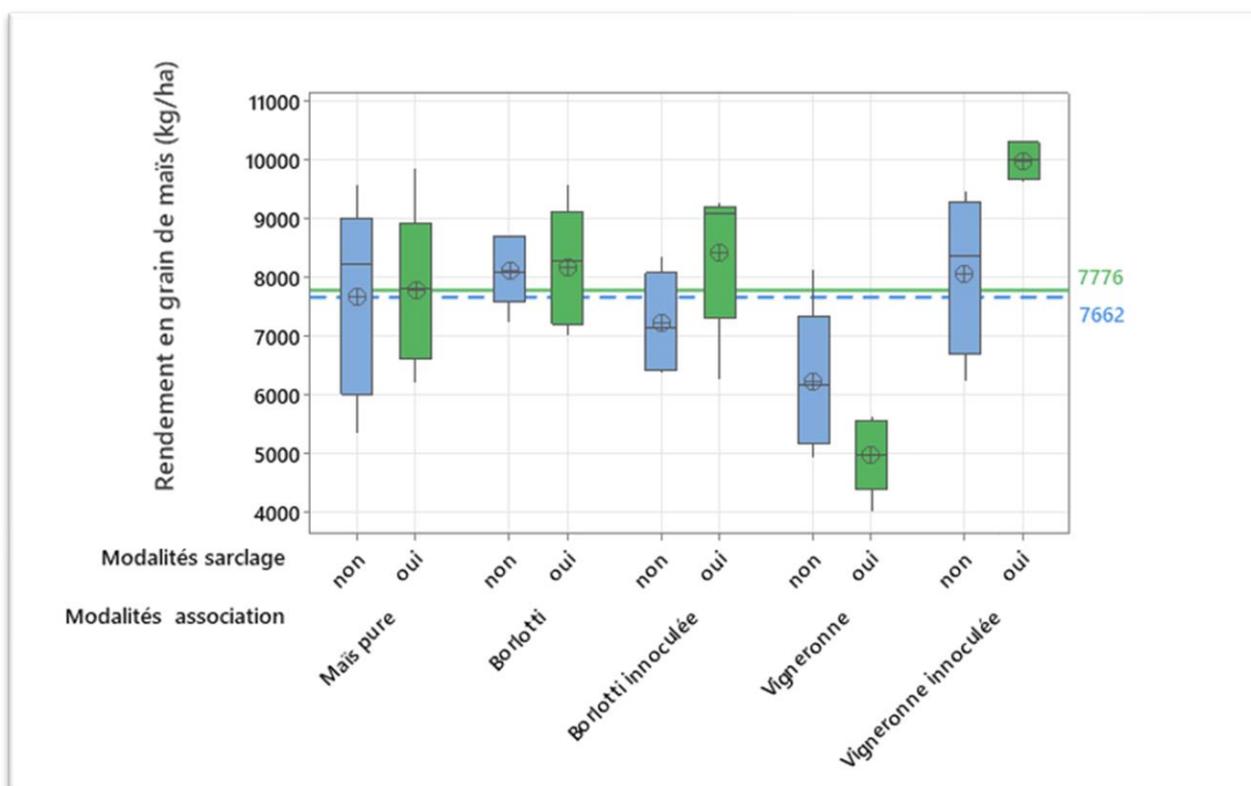
Les différences entre cultures associées et pures sont flagrantes en termes de rendement de haricots, où 5 des 8 cultures pures (sauf Borlotto inoculée en sarclé et non-sarclé, et Borlotto sarclé) sont statistiquement supérieures à 7/8 des cultures associées (sauf Vigneronne inoculée non-sarclée). Pour le rendement en maïs, la différence entre cultures associées et pures n'est pas visible. En effet, le rendement en maïs le plus important est celui de l'association sarclée avec Vigneronne inoculée (différence statistiquement significative avec toutes les autres modalités), et les plus faibles sont ceux des associations sarclées et non-sarclées avec Vigneronne (différence statistiquement significative avec toutes les autres modalités excepté l'association non-sarclée avec Borlotto inoculé). Les 7 autres modalités, comprenant les 2 cultures pures de maïs, sont indissociables statistiquement parlant.

Les différences entre les variétés de haricots (et l'inoculation) sont les plus marquées, pour les rendements en haricots et les rendements en maïs. Les variétés Vignerones en inoculées ont un rendement en haricot statistiquement supérieurs aux variétés de Borlotto, au sein de leurs groupes (sauf pour les associations sarclées). En termes de rendement de maïs, les 4 variétés avec Borlotto (inoculées et normales) sont supérieures, de façon statistiquement significative, aux 2 modalités avec Vigneronne, et statistiquement inférieures à la moitié des modalités avec Vigneronne inoculée (similaires à la deuxième moitié).

Pour le rendement en maïs, la Figure 21 montre bien cette différence négligeable entre les variétés sarclées et non-sarclées, avec pour seules différences visibles la Vigneronne inoculée plus productive en sarclée et la Vigneronne moins productive en sarclée. En revanche, le rendement supérieur de la Vigneronne inoculée sarclée par rapport au groupe central (toutes les modalités similaires aux maïs purs) est très net sur ce graphique, de même que celui de ce dernier par rapport à la modalité de Vigneronne sarclée. Cette observation est confirmée par la comparaison avec le témoin de maïs pur sarclé (statistique en Annexe 13), qui a uniquement 2 modalités statistiquement différentes : Vigneronne inoculée sarclée supérieure au témoin et Vigneronne sarclée inférieure au témoin.



**Image 12: Produits issus de la moisson (Maïs et haricots) (10 novembre), pour toute la bande en association**

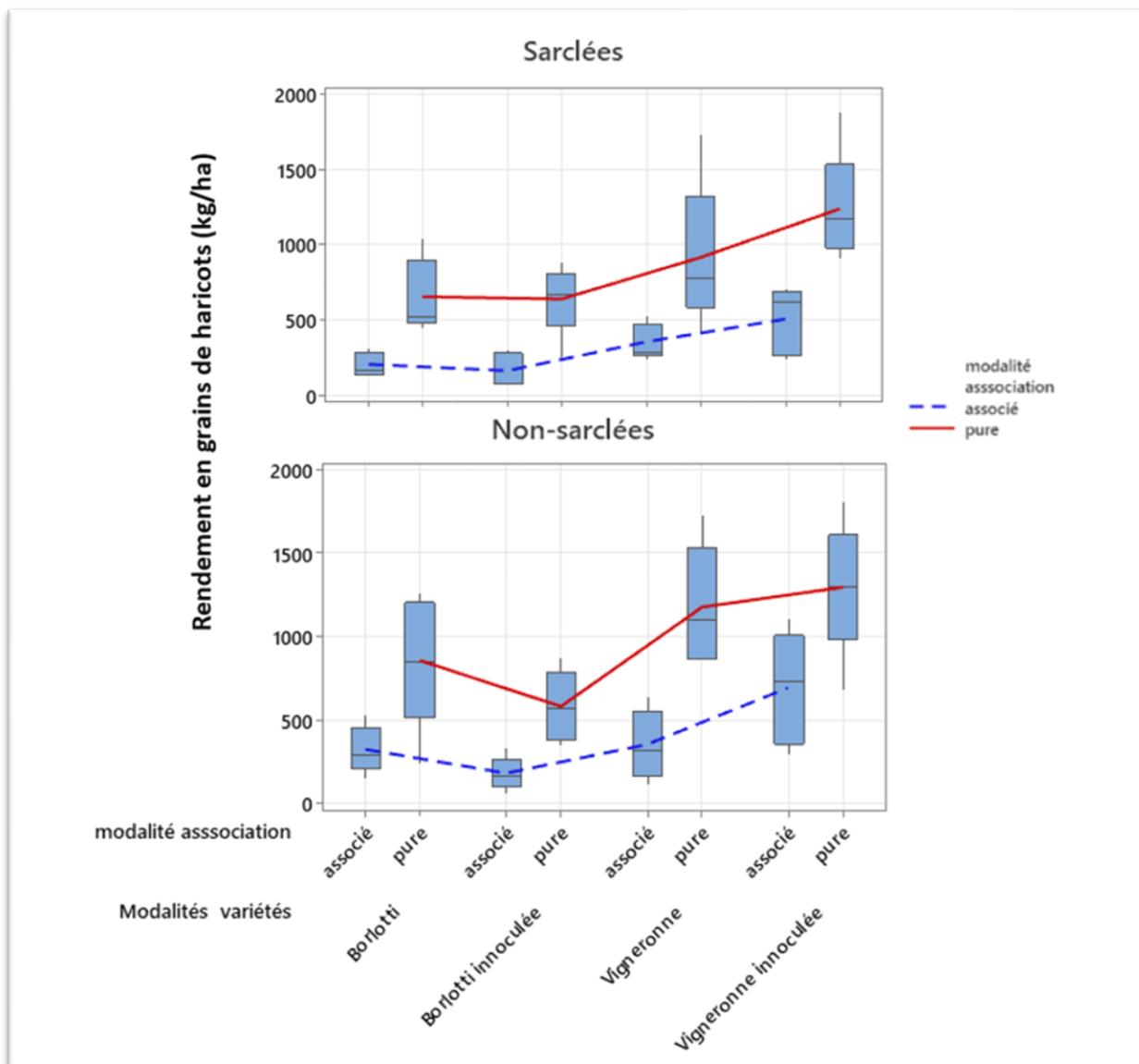


**Figure 21: Boîtes à moustaches des rendements en grains de maïs à 86% de MS (kg/ha), pour les modalités sarclées (en vert) et non-sarclées (en bleu), au sein de l'essai sur l'association de culture de maïs et haricot. Avec deux lignes de références correspondant aux moyennes des maïs purs (7776 = sarclé) (7662 = non-sarclé).**

Pour les rendements en haricots, la Figure 22 montre très clairement la différence entre les modalités associées et pures, au sein de chaque variété. Bien que les rendements des Vignerannes inoculées (en sarclée et non-sarclée) en association soient similaires à ceux des Borlotto inoculés purs, ils sont nettement inférieurs aux rendements purs des Vignerannes inoculées. Nous pouvons également voir la forte similitude entre les 2 panneaux du graphique, qui exprime cette différence négligeable entre les modalités sarclées et non-sarclées. Ce graphique présente surtout le classement des variétés de haricots en fonction de leurs rendements, qui suit le même ordre en cultures associées, pures, sarclées et non-sarclées : La Vigneronne inoculée est clairement en tête, suivit par Vigneronne, Borlotto, puis enfin Borlotto inoculé.

Deux comparaisons des ANOVA avec témoins (Vigneronne inoculée pure sarclée & Borlotto inoculé pur sarclé) ont été effectuées (statistiques en Annexe 11) : La première démontre le rendement supérieur du témoin par rapport à toutes les modalités (sauf Vigneronne inoculée pure non-sarclée), mais statistiquement non significatif pour les Vignerannes pures (sarclée et non-sarclée) et le Borlotto pur non-sarclé. La deuxième montre la supériorité non significative du témoin par rapport aux modalités associées

(excepté Vigneronne inoculée associée non-sarclée) et son infériorité par rapport aux autres modalités pures, significative uniquement pour les 2 Vigneronnes inoculées (sarclées et non-sarclées) et la Vigneronne non-sarclée.



**Figure 22: Boîtes à moustaches des rendements en grains de haricots à 87% de MS (kg/ha) pour les modalités sarclées (en haut) et non-sarclées (en bas), au sein de l'essai sur l'association de culture de maïs et haricot. Avec 2 lignes de liaisons des moyennes pour les modalités associées et pures.**

Il faut noter également que ces rendements ont été estimés d'après une récolte à la main des différentes UE, mais que toutes les gousses de haricots ne seront pas prélevées lors de la récolte à la moissonneuse-batteuse. En effet, un comptage des gousses en dessus et en dessous de 20 cm (hauteur de la barre de coupe de la moissonneuse),

dans les zones en associations, nous montre que plus de la moitié du rendement des haricots Borlotto sera perdu lors de la récolte, contre seulement 20,5% de perte pour la variété Vigneronne (Tableau 12).

**Tableau 12 : Pourcentage du rendement en haricot, en associations avec le maïs, récoltés mécaniquement (=gousses au-dessus de 20 cm), pour les 2 variétés.**

Variétés	Nombre de gousses au-dessus de 20 cm	Nombre de gousses en dessous de 20 cm	% de gousses au-dessus de 20 cm
Vigneronne	5,28	1,36	79,5%
Borlotto	1,12	1,52	42,2%

Les données affichées sont les moyennes de 5 répétitions comptées sur 5 plants 129 j. après le semis.

### 5.2.2.2 Discussion

Les rendements en maïs montrent peu de différences entre les cultures associées et la monoculture. Si ce n'est l'association sarclée avec Vigneronne inoculée (qui produit un rendement supérieur à la monoculture de plus d'une tonne) et celle avec Vigneronne (dont le rendement est près de deux tonnes en dessous de celui de la monoculture), les cultures associées sont similaires à la monoculture en termes de rendement, ou légèrement au-dessus. Ce qui semble montrer que l'association a un effet positif sur le rendement en maïs, et si seul 2 des 8 modalités de cultures associées sont significativement différentes du témoin il est probable que ces différences soient dues à l'effet des bandes (Figure 13). La variété Borlotto n'impacte pas le rendement de maïs, qui reste le même qu'en culture pure, mais Vigneronne le modifie fortement. Il est donc possible que cette variété, par sa compétitivité supérieure, affaiblisse le maïs, et que l'inoculant permette de limiter cette concurrence en fournissant une nouvelle source d'azote au haricot Vigneronne. Le sarclage ne semble pas influencer le rendement en maïs, probablement parce qu'aucune des modalités associées ou de maïs pur (sarclées et non-sarclées) soient fortement envahie par les adventices. Ce qui ne signifie pas que le sarclage est inutile, mais plutôt que les modalités contenant du maïs ont bien géré l'invasion des adventices.

En se penchant sur le rendement en haricots, la meilleure productivité des cultures pures est indéniable, quelle que soit la modalité de sarclage ou la variété. Ce qui fait sens, car en association c'est le maïs qui prend le dessus sur le haricot. Néanmoins, nos résultats

dessinent un classement clair entre les 4 modalités de variétés (Vigneronne inoculée, Vigneronne, Borlotto puis Borlotto inoculée), où la variété la plus productive en associée a un rendement similaire à la plus pauvre en pure. Ce classement force à admettre la meilleure productivité, et surtout la meilleure adaptation à un tel système (grande culture, associée ou non, avec un faible entretien) de la variété Vigneronne, par rapport à Borlotto. De plus, ces différences entre variétés sont plus marquées dans les modalités non-sarclées, ce qui laisse supposer que leur rendement est lié à la concurrence avec les adventices, ainsi qu'avec la culture de maïs. Et la meilleure adaptation de Vigneronne pour la concurrence avec le maïs est également valable avec les adventices.

En outre, l'association avec le maïs, bien que produisant moins que la monoculture, offre un avantage certain sur cette dernière concernant la récolte. Ce système permet de mécaniser la récolte des grains de haricots (moissonneuse-batteuse), qui se fait ainsi en quelques instants, ce qui est impossible si le haricot est tuteuré (en culture pure), et il suffit de trier les grains de haricots et de maïs ensuite. L'adaptation de la variété à la culture associée est déterminante pour ce facteur, car il faut qu'elle grimpe suffisamment pour que ses gousses soient au-dessus de la barre de coupe (environ 20 cm). Nos résultats montrent que la Vigneronne est parfaitement adaptée à ce type de récolte, avec près de 80% des gousses à portée de moissonneuse-batteuse, alors que Borlotto admettra une perte de plus de la moitié de son rendement.

Il reste les différences entre les variétés inoculées et non inoculées, qui pourrait être due à l'inoculant lui-même. Mais si cette hypothèse semble logique dans le cas de Vigneronne, où l'inoculée produit plus que la normale, il est étrange que, pour Borlotto, l'inoculant engendre une baisse de rendement. Ces différences sont, plus probablement, dues à l'effet des bandes, en tout cas pour Borlotto (où l'inoculant ne semble pas avoir fonctionné). Il est cependant possible que l'inoculant ai fonctionné pour la variété Vigneronne.

### ***5.2.3 Discussion générale des mesures post-récolte***

Dans l'ensemble des facteurs évalués post-récolte, les associations de culture sont plus performantes que les monocultures : biomasses de culture supérieures, biomasses des adventices inférieures et rendement en maïs supérieur. Seul le rendement en haricot reste plus intéressant en monoculture par rapport aux associations, car le maïs prend le dessus sur le haricot lorsque les 2 cultures sont semées simultanément. C'est un risque à prendre, car cela limite le nombre de passages de tracteurs et ne nécessite qu'une seule date aux conditions optimales pour le semis (Piccot 2020). La monoculture de haricot, bien que plus productive, n'est pas intéressante pour autant avec ces variétés (haricots rames), car elle n'est pas destinée aux grandes cultures mécanisées (récolte

à la moissonneuse-batteuse impossible à cause des tuteurs), et nécessite une quantité de travail manuel importante. De plus, en association avec le maïs, la culture est plus résiliente et moins sujet à des fortes invasions d'adventices, ce qui entraîne des pertes de rendement importantes. Voilà pourquoi le Borlotto en pure a un rendement similaire à la Vigneronne inoculée en association, et cette baisse de rendement est encore plus forte lorsque les conditions climatiques sont limitantes (or il n'y a pas eu de sécheresse cette année). L'association maïs-haricot est probablement plus intéressante (en termes de rendement de haricot) lorsque les ressources manquent (Ariga, Odhiambo, and Friesen 2001).

Bien qu'ils soient inférieurs aux cultures pures, les rendements en haricots de nos associations sont tout de même intéressants. En effet, dans une étude conduite à Berne, Ramseier et Burkhart Pastor (2018) ont obtenus leurs meilleurs rendements en haricots associés avec Borlotto (253 kg/ha), ce qui est similaire à nos rendements en Borlotto et largement inférieur à ceux produit par Vigneronne. Cette variété est donc prometteuse en termes de quantité de haricot, ceci étant dû à sa compétitivité supérieure. Cette compétitivité lui permet de produire nettement plus de biomasse et de grain en culture pure, mais induit probablement aussi une concurrence avec le maïs et cause cette baisse de rendement dans l'association avec Vigneronne. A moins que ce soit uniquement l'effet de la bande, cette baisse serait causée par un manque de ressources engendré par le haricot, et qui semble être compensé par l'ouverture à une nouvelle source d'azote apportée par l'inoculant (WOLLEY and DAVIS 1991). Cette augmentation du rendement chez Vigneronne inoculée nous indique que l'inoculant a fonctionné, et cela concorde avec l'activité supérieure observée dans les nodule des haricots inoculés (Sonzogni 2021).

En ce qui concerne les rendements en maïs, l'étude à Mapraz de l'année précédente a produit largement moins avec la variété Évolino (5'600 kg/ha en associé et 6'200 kg/ha en pur) (Piccot 2021). L'année d'encore avant a obtenu des meilleurs rendements, mais avec le variété Fabregas, plus productive (Piccot 2020).

Les variétés Évolino et Vigneronne (en inoculée) semblent bien adaptées l'une à l'autre, car le maïs n'est pas trop compétitif et laisse la place au haricot, qui lui, compense et rend la concurrence rude pour les adventices. De plus les 2 cultures arrivent à maturité à la même période (Tableau 3).

Le sarclage ne semble pas toucher directement les productions de grains ou de biomasses en association, cependant il impacte la production de biomasse des adventices, ce qui aura un impact à long terme sur la propreté de la parcelle.



**Image 13: gousses de Borlotto (à gauche) et de Vigneronne (à droite) (photo Timothé Sonzogni)**

## 5.3 indices d'évaluation des cultures associées

### 5.3.1 %WSE

#### 5.3.1.1 Résultats

Les indices de réduction des adventices par la culture (%WSE) ont été calculés à partir des biomasses moyennes des adventices de chaque modalité d'association, et de celles des cultures pures correspondantes, selon la formule suivante :

$$WSE (\%) = \frac{B_{\text{culture pure}} - B_{\text{culture associée}}}{B_{\text{culture pure}}} * 100$$

Où la biomasse des adventices des cultures pures est celle des modalités de maïs pur (sarclé ou non-sarclé) pour le %WSE Maïs, et celle des modalités de haricot pur correspondantes (parmi les 8 modalités) pour le %WSE Haricot (Tableau 13). Aucune analyse statistique n'est effectuée à partir de cet indice, car il exprime déjà le pourcentage de réduction d'adventice moyen, issus de données analysées au préalable, et permet de différencier les modalités associées entre elles ainsi que par rapport aux cultures pures. De ce fait les statistiques n'apporteraient pas plus de précisions.

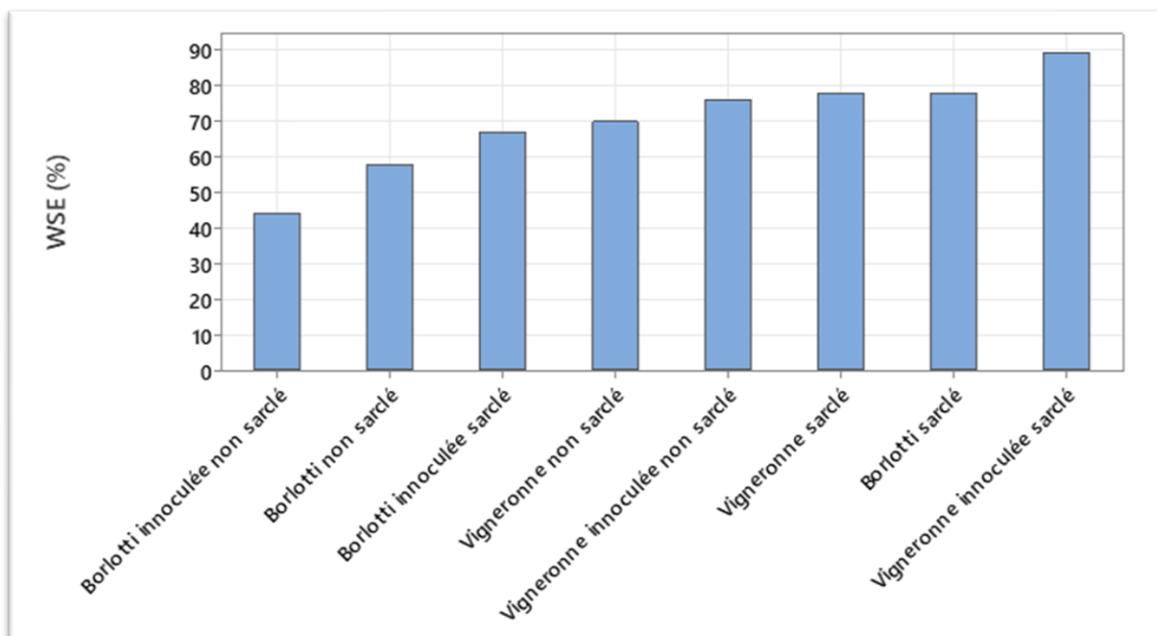
**Tableau 13: Pourcentages de réduction moyens des adventices par les cultures associées (maïs-haricot), par rapport aux cultures pures de maïs correspondantes (%WSE Maïs), et aux cultures pures de haricots correspondantes (%WSE Haricot).**

Modalités		% WSE Maïs	% WSE Haricot
Association sarclée	Vigneronne inoculée	<b>88,89</b>	94,44
	Borlotto inoculé	66,67	95,08
	Vigneronne	77,78	91,30
	Borlotto	77,78	<b>96,23</b>
Association non-sarclée	Vigneronne inoculée	75,76	78,38
	Borlotto inoculé	<b>43,94</b>	77,44
	Vigneronne	69,70	77,78
	Borlotto	57,58	<b>61,11</b>

Les données de ce tableau sont calculées à partir des moyennes de 5 répétitions

La donnée la plus importantes de chaque colonne du Tableau 12 (affichée en rouge), est systématiquement dans la ligne des associations sarclées, alors que la plus faible (affichée en bleu) est dans celle des associations non-sarclées. Nous pouvons également voir que le pourcentage de réduction des adventices par rapport aux haricots purs est plus fort que par rapport au maïs. Cependant la culture de haricot pure n'étant pas pratiquée de la sorte dans le contexte agricole suisse (en grande culture à une faible

densité et tuteurés 2 rangs sur 3), ce témoin n'est pas pertinent pour évaluer la réduction de la biomasse d'adventices. De plus, les biomasses de haricots purs correspondantes étant différentes pour chaque modalité d'association (8 modalités de haricots purs), l'indice est trop fluctuant. Voilà pourquoi la Figure 23 montre les %WSE Mais uniquement.



**Figure 23: Carte des pourcentages de réduction des adventices par les cultures associées de maïs-haricot (%WSE), par rapport aux cultures de maïs purs correspondantes (sarclés ou non-sarclés)**

Sur ce graphe, nous pouvons voir que toutes les modalités d'association ont un impact réducteur sur la biomasse des adventices, variant entre 43,9% et 88,9%. La variété Vigneronne semble avoir un effet supérieur à la Borlotti pour effectuer cette diminution. Il faut noter également que chaque variété possède un indice %WSE plus important en sarclé qu'en non-sarclé.

### 5.3.1.2 Discussion

L'indice %WSE Haricot n'est pas pertinent pour évaluer notre association, car il la compare à une culture non adaptée aux systèmes de grandes cultures. Il ne sert qu'à prouver cette mauvaise adaptation, avec près de 100% d'adventices en plus pour les haricots purs sarclés que dans les associations correspondantes.

En se basant sur le %WSE Maïs, plus intéressant, il apparaît clairement que chaque association réduit la présence des adventices de façons importante. Cette diminution est

probablement due à la densité supérieure des associations et de la compétitivité accrue qui en découle. La variété Vigneronne est plus efficace pour jouer ce rôle de réduction, grâce à sa meilleure capacité à s'accaparer les ressources.

Ces données nous montrent également que les associations sarclées ont un indice de réduction des adventices plus important que les non-sarclées. Ce qui signifie que le sarclage est plus efficace en culture associée qu'en pure.

Une différence qui semble liée à l'inoculant, se manifeste par l'optimisation de Vigneronne inoculée, et la détérioration de Borlotto inoculé. Il est tout de fois plus probable qu'elle ne soit autre que la supériorité de Vigneronne sur Borlotto, combinée avec l'effet du passage des roues de tracteur (sur les rangs de Borlotto inoculé et Vigneronne) (Figure 13).

## 5.3.2 LER

### 5.3.2.1 Résultats

Les indices de l'efficacité d'utilisation du terrain (LER) sont calculés à partir des rendements moyens des cultures associées et de ceux des cultures pures correspondantes, selon la formule suivante :

$$LER = \frac{Y_{\text{culture associée1}}}{Y_{\text{monoculture1}}} + \frac{Y_{\text{culture associée2}}}{Y_{\text{monoculture2}}}$$

Où les rendements moyens de haricots et de maïs additionnés, pour chaque culture associée, sont divisés par la somme des rendements moyens de haricots purs et de maïs purs correspondants (Tableau 14). Aucune analyse statistique n'est effectuée à partir de cet indice, car il est le résultat du rapport entre des moyennes déjà analysées au préalable, et exprime la surface nécessaire pour produire le même rendement avec 2 monocultures. De ce fait les statistiques n'apporteraient pas plus de précisions pour l'interprétation de ces résultats.

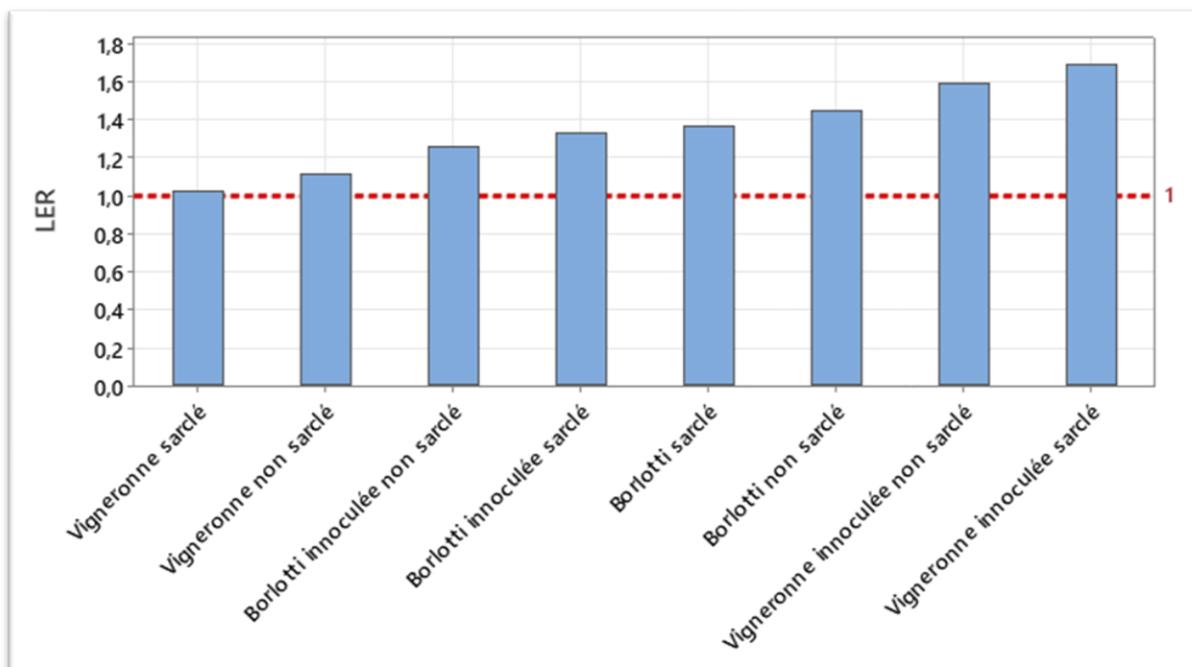
**Tableau 14: Indices de l'efficacité d'utilisation du terrain (LER) pour les différentes modalités de cultures associées de maïs et de haricot.**

Modalités		LER
Association sarclée	Vigeneronne inoculée	<b>1,69</b>
	Borlotto inoculé	1,33
	Vigeneronne	<b>1,02</b>
	Borlotto	1,36
Association non-sarclée	Vigeneronne inoculée	1,59
	Borlotto inoculé	1,25
	Vigeneronne	1,11
	Borlotto	1,44

*Les données de ce tableau sont calculées à partir des moyennes de 5 répétitions*

Le LER le plus important parmi les 8 associations est celui correspondant à l'association sarclée avec Vigeneronne inoculée, alors que le plus faible est également une association sarclée, avec Vigeneronne.

Tous les LER des 8 associations sont supérieurs à 1 (sauf Vigeneronne sarclée), et le classement entre les 4 variétés est le même en sarclé qu'en non-sarclé : Vigeneronne inoculée en tête, Borlotto ensuite, puis Borlotto inoculé et enfin Vigeneronne (Figure 24).



**Figure 24: Carte des LER des différentes associations de maïs-haricot, avec ligne de référence de 1, correspondant une efficacité d'utilisation du terrain similaire à 2 monocultures**

### 5.3.2.2 Discussion

Les résultats des LER montrent bien que l'association est intéressante pour chacune de 8 modalités (mais très peu pour Vigneronne sarclée) car elles permettent de produire plus d'une fois ce qui serait produit en monoculture sur la même surface. Les Vignerottes inoculées sont l'association la plus intéressante en termes de rendement équivalent, suivit par Borlotti, Borlotti inoculé et enfin Vigneronne. Ces différences entre les modalités s'expliquent principalement par les rendements en maïs, bien plus important que celui en haricot. Voilà pourquoi Vigneronne est en bas du classement alors qu'elle produit plus de haricot que les Borlotti. Ces dernières produisent relativement autant de maïs qu'en pure, plus une faible quantité de haricot, et les Vignerottes inoculées produisent plus de maïs qu'en pure ainsi que la meilleure production de haricots. C'est donc l'association la plus intéressante en termes de rendement, en produisant plus de 1,5 fois la quantité produite en monoculture à surface égale.

Quant au sarclage, il n'a apparemment pas d'effet sur les rendements en associations.

### 5.3.3 IER

#### 5.3.3.1 Résultats

Les indices de la valeur totale du rendement (IER) sont calculés, avec les rendements moyens de chaque culture associée par rapport aux rendements moyens des cultures de maïs pures correspondantes (sarclées ou non-sarclées), selon la formule suivante :

$$IER = \frac{aP1 + bP2}{aM1}$$

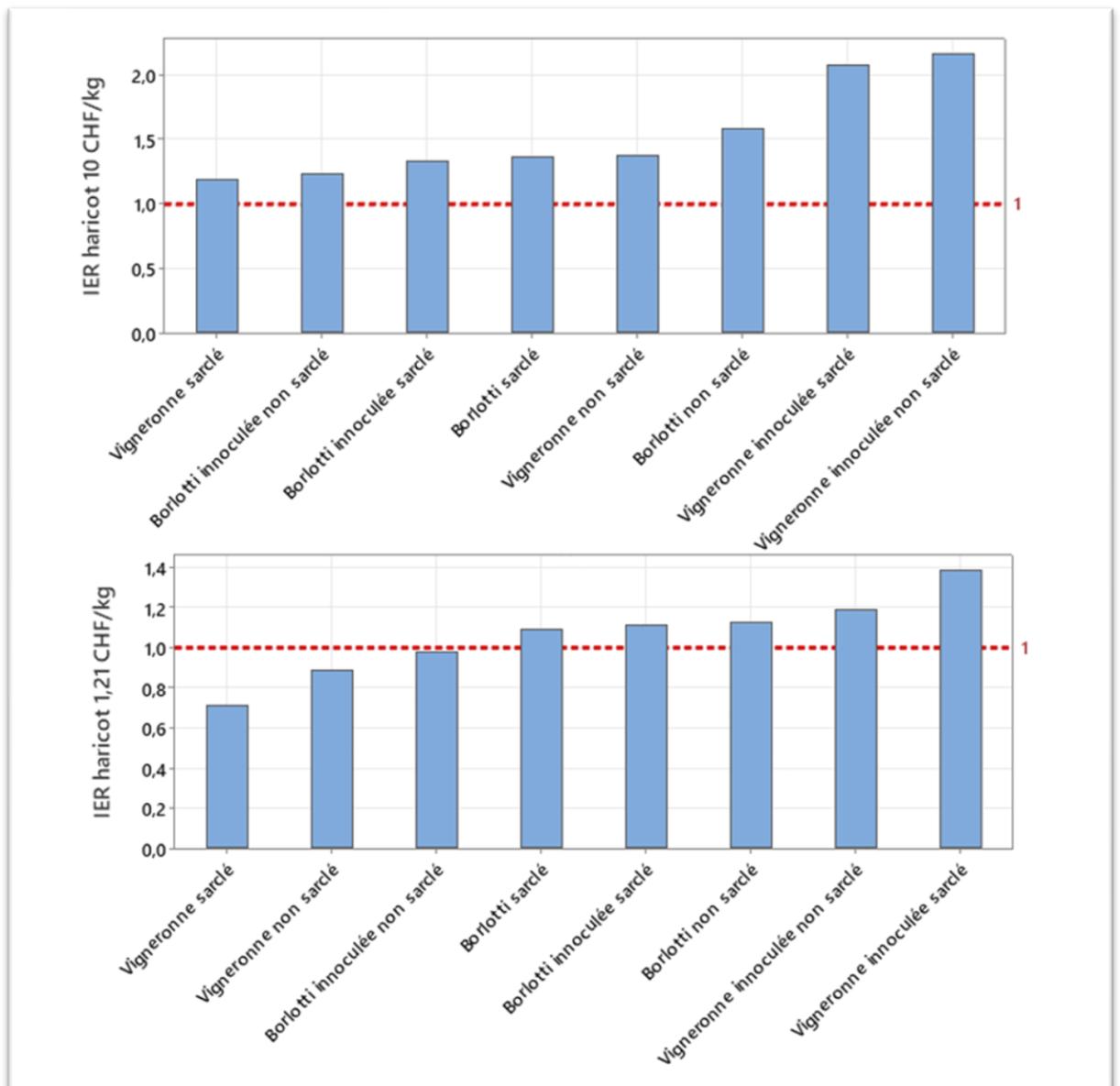
Où *a* et *b* sont les prix des cultures 1 et 2, *P1* et *P2* sont les rendements respectifs des 2 cultures en association, et *M1* le rendement de la culture pure de maïs. Les prix des cultures de haricots ont été estimés à 10 CHF/kg dans l'optique d'une vente circuit court, et 1,21 CHF/kg pour de la grosse distribution (ce prix semble bien trop faible, mais il sert de témoin négatif). Le prix du maïs Bio est de 0,82 CHF/kg (Tableau 15). Aucune analyse statistique n'est effectuée suite à cet indice, car il est issu du quotient des rendements moyens déjà analysés au préalable, et permet d'observer les différences de revenus apportés par les associations par rapport aux maïs purs. De ce fait les statistiques n'apporteraient pas plus de précisions.

**Tableau 15: Indices de la valeur totale du rendement (IER) pour les modalités en cultures en association de maïs et de haricot, avec 2 estimations différentes du prix de haricot**

Modalités		IER Haricot 10 CHF/kg	IER Haricot 1,21 CHF/kg
Association sarclée	Vigeneronne inoculée	2,07	<b>1,38</b>
	Borlotto inoculé	1,33	1,11
	Vigeneronne	<b>1,19</b>	<b>0,71</b>
	Borlotto	1,36	1,09
Association non- sarclée	Vigeneronne inoculée	<b>2,15</b>	1,19
	Borlotto inoculé	1,23	0,98
	Vigeneronne	1,38	0,88
	Borlotto	1,58	1,12

Les données de ce tableau sont calculées à partir des moyennes de 5 répétitions

La valeur la plus importante de IER (en rouge) pour un prix de 10 CHF/kg de haricot est l'association non-sarclée avec Vigeneronne inoculée, alors que celle pour un prix de 1,21 CHF/kg de haricot est l'association sarclée avec Vigeneronne inoculée. En revanche, les valeurs les plus faibles de IER (en bleu) pour les 2 prix de haricot différents, sont toujours l'association sarclée avec Vigeneronne (Tableau 15).



**Figure 25 : Carte des indices de la valeur totale du rendement (IER) pour les différentes modalités en cultures associées maïs-haricot, avec 2 estimations différentes du prix de haricot.**

Les IER avec un prix de 10 CHF/kg de haricot sont tous supérieurs à 1, avec une dominance des associations avec Vigneronne inoculée nette. Les autres modalités sont toutes relativement similaires, à l'exception de Borlotti non-sarclé, qui se démarque également du reste.

Pour l'estimation du prix des haricots à 1,21 CHF/kg, les IER sont plus proches du 1, avec seulement 3 valeurs inférieures à cette limite (Vigneronne sarclée et non-sarclée, et Borlotti inoculé non-sarclé). Les associations avec Vigneronne inoculée restent en tête (Figure 25).

### 5.3.3.2 Discussion

L'indice de revenu équivalent (IER) nous indique que les cultures associées sont nettement plus rentables que les monocultures de maïs, et ce particulièrement si le haricot peut être revendu à 10 CHF/kg. Ce prix est une estimation de ce que l'on peut en tirer en circuit court. Il est plus intéressant, dans le contexte actuel, que le prix estimé pour le circuit long, car il n'existe pas encore de marché pour un tel produit, et les pionniers devront commencer par commercialiser leur haricot en circuit court. Avec un tel prix, l'association la plus rentable (Vigneronne inoculée) rapporterait plus du double de revenu qu'une monoculture de maïs, alors que la plus infructueuse (Vigneronne) ajouterait quand même 20-40% de plus au prix de vente.

Pour une vente en circuit long (prix estimé à 1,21 CHF/kg), le revenu engendré par les haricots est négligeable comparé à celui du maïs (830 CHF/ha pour la plus productive des associations). Néanmoins, les revenus équivalents de la plupart des associations sont légèrement supérieurs à celui du maïs pur, et celle de Vigneronne inoculée obtient une plus-value non-négligeable de 20-40%.

Les coûts d'entretiens étant les mêmes pour les cultures associées et pures de maïs, il n'est pas nécessaire de calculer le RVI, qui donnerait le même résultat (cf. § 1.2.3).

Nous pouvons cependant prendre en compte les frais de triage, qui sont l'unique surcoût lié aux associations. Divers trieurs peuvent être utilisés pour séparer des cultures associées : Les moins chères étant des trieurs alvéolaires (300 €) et trieurs en hélice (environ 2000 €), une table densimétrique, plus fiable mais l'achat de la machine est un investissement plus important (environ 15000 €), et enfin, la technologie la plus performante est la trieuse optique, d'une valeur d'environ 250'000 € (Solagro 2016).

Pour ceux qui ne souhaitent pas faire un tel investissement, certains agriculteurs effectuent le travail de triage pour tiers (entre 6 et 120 €/t). Malgré les coûts de triage, l'association reste largement rentable.

### 5.3.4 MEY

#### 5.3.4.1 Résultats

Les rendements en maïs équivalent (MEY) sont calculés à partir des rendements moyens des cultures associées et pures et des prix du haricot et du maïs, pour les 18 modalités, selon la formule suivante :

$$MEY = \text{rendement maïs associé} + \frac{\text{rendement haricot associé} * \text{prix haricot}}{\text{prix maïs}}$$

Où 2 prix de haricot différents sont estimés, un premier à 10 CHF/kg et un second à 1,21 CHF/kg, qui donnent 2 résultats différents de (Tableau 16). Aucune analyse statistique n'est effectuée à partir du MEY, car il exprime la rentabilité des cultures en rendement de maïs pur, et est calculé à partir de valeurs moyennes déjà analysées au préalable. Il permet ainsi de différencier les modalités associées entre elles et par rapport aux cultures pures, mais de façon plus parlante que le IER. De ce fait les statistiques n'apporteraient pas plus de précisions. Les MEY sont des valeurs fictives exprimées en kg de maïs/ha.

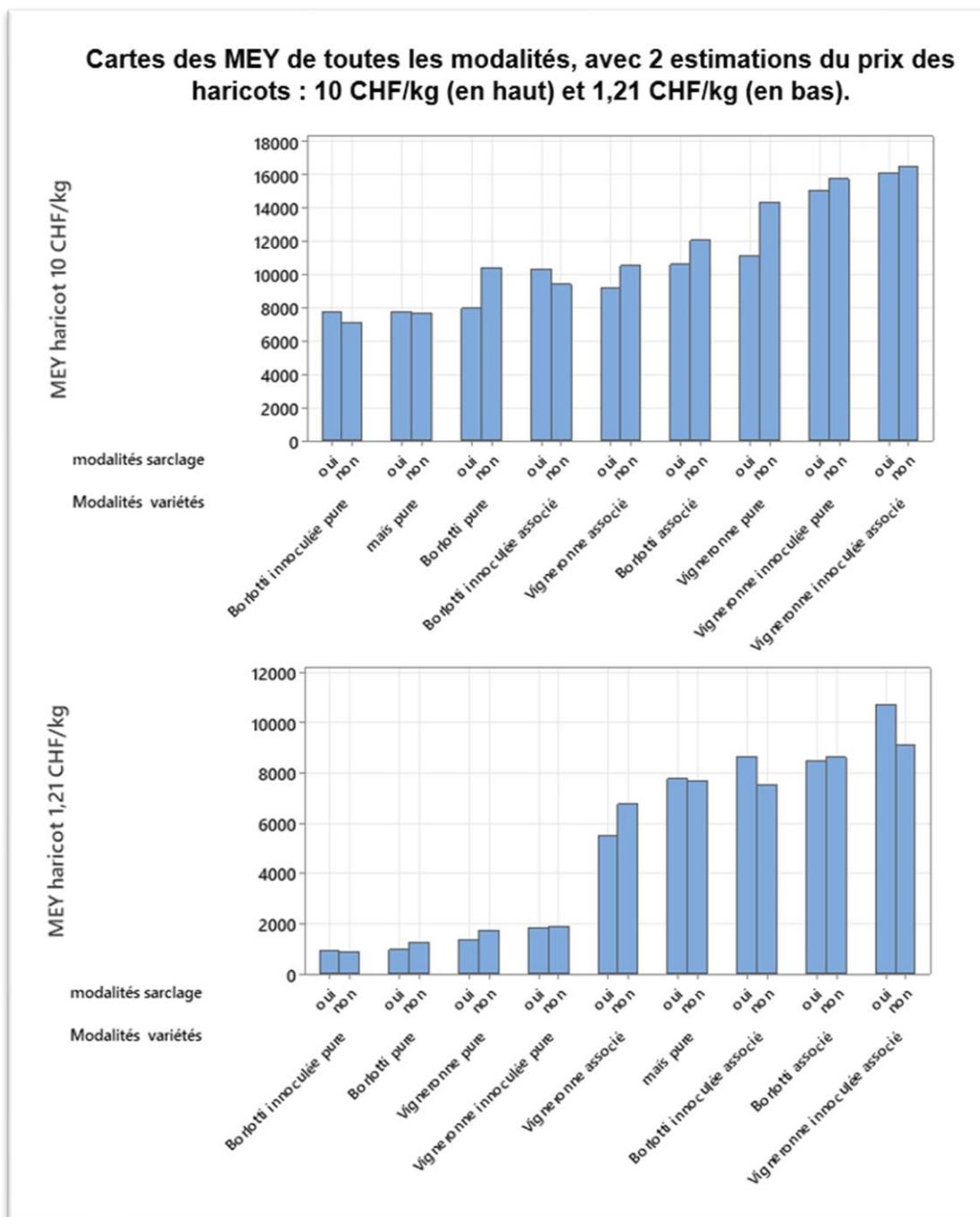
**Tableau 16: Rendements équivalent en maïs (MEY) exprimés en kg de maïs/ha, pour les 18 modalités de cultures associées maïs-haricot et de cultures pures témoins (maïs pur et haricot pur)**

Modalités		MEY Haricot 10 CHF/kg	MEY Haricot 1,21 CHF/kg
Association sarclée	Vigneronne inoculée	16098	<b>10726</b>
	Borlotto inoculé	10323	8648
	Vigneronne	9243	5497
	Borlotto	10613	8477
Haricot pur sarclé	Vigneronne inoculée	15101	1827
	Borlotto inoculé	7775	941
	Vigneronne	11158	1350
	Borlotto	7962	963
Haricot pur non-sarclé	Vigneronne inoculée	15774	1909
	Borlotto inoculé	7102	<b>859</b>
	Vigneronne	14335	1735
	Borlotto	10448	1264
Association non- sarclée	Vigneronne inoculée	<b>16497</b>	9088
	Borlotto inoculé	9436	7498
	Vigneronne	10539	6760
	Borlotto	12075	8609
Maïs pur	Non-sarclé	<b>7662</b>	7662
	Sarclé	7777	7777

Les données de ce tableau sont calculées à partir des moyennes de 5 répétitions

Étude de l'association de cultures maïs-haricot comme moyen de gestion des adventices, et impacts sur les rendements.

Les résultats les plus importants en MEY (en rouge), pour chaque colonne, sont les mêmes que pour l'indice IER (voir Tableau 15), à savoir Vigneronne inoculée en association sarclée et non-sarclée. Cependant, les résultats les plus faibles (en bleu) sont le maïs pur non-sarclé pour la première colonne (prix du haricot 10 CHF/kg) et le Borlotto inoculé pur non-sarclé pour la deuxième (prix du haricot 1,21 CHF/kg) (Tableau 16).



**Figure 26: Cartes des MEY exprimés en kg de maïs/ha, pour les 18 modalités de cultures associées maïs-haricot et de cultures pures témoins (maïs pur et haricot pur), avec 2 estimations du prix des haricots : 10 CHF/kg et 1,21 CHF/kg.**

La Figure 26 montre que malgré la différence importante engendrée par les 2 estimations de prix du haricot, les modalités avec le MEY le plus important (Vignerones inoculées associées) et celles avec le plus faible (Borlotti inoculés purs) restent les mêmes. Le sarclage ne semble pas influencer fortement le MEY, alors que les variables association (surtout pour MEY avec 1,21 CHF/kg de haricot) et variétés (surtout pour MEY avec 10 CHF/kg de haricot) ont un impact visible sur ce dernier.

#### 5.3.4.2 Discussion

Les rendements équivalents en maïs expriment la même chose que les indices IER : le revenu total des produits de la culture associée. Mais ils sont exprimés en équivalent de maïs, ce qui permet de les comparer d'une façon plus parlante, et également avec les cultures de haricot purs.

Une fois encore, l'association avec Vignerone inoculée est en tête, pour les 2 estimations de prix des haricots. Les autres associations sont soit supérieures au maïs pur (haricot 10 CHF/kg), soit similaires à ce dernier (haricot 1,21 CHF/kg). Les revenus générés par les associations sont donc supérieurs, dans l'ensemble à la culture pure de maïs. Pour la différence avec les cultures de haricots pures, elle est moins marquée, mais le revenu de cette dernière ne prend pas en compte tout le travail supplémentaire de récolte dû à l'impossibilité de mécaniser un champ de haricots rames en grande culture.

## 5.4 Résultats généraux

Le Tableau 17 présente l'ensemble des mesures post-récolte, ainsi que les indices les plus pertinents retenus pour caractériser les meilleures associations. Il apparaît de façon flagrante sur ce tableau que les associations avec Vigneronne inoculée sont les plus performantes en tous points de vue (excepté la biomasse des cultures, où les résultats pour Borlotto ont probablement été gonflés par une erreur humaine lors du séchage cf. §5.2.1.2). En revanche, l'association avec Vigneronne sarclée est la moins performante pour la majorité des variables analysées.

**Tableau 17: Synthèse de l'ensemble des mesures post-récoltes et indices de comparaison, pour les 8 associations de culture maïs-haricot**

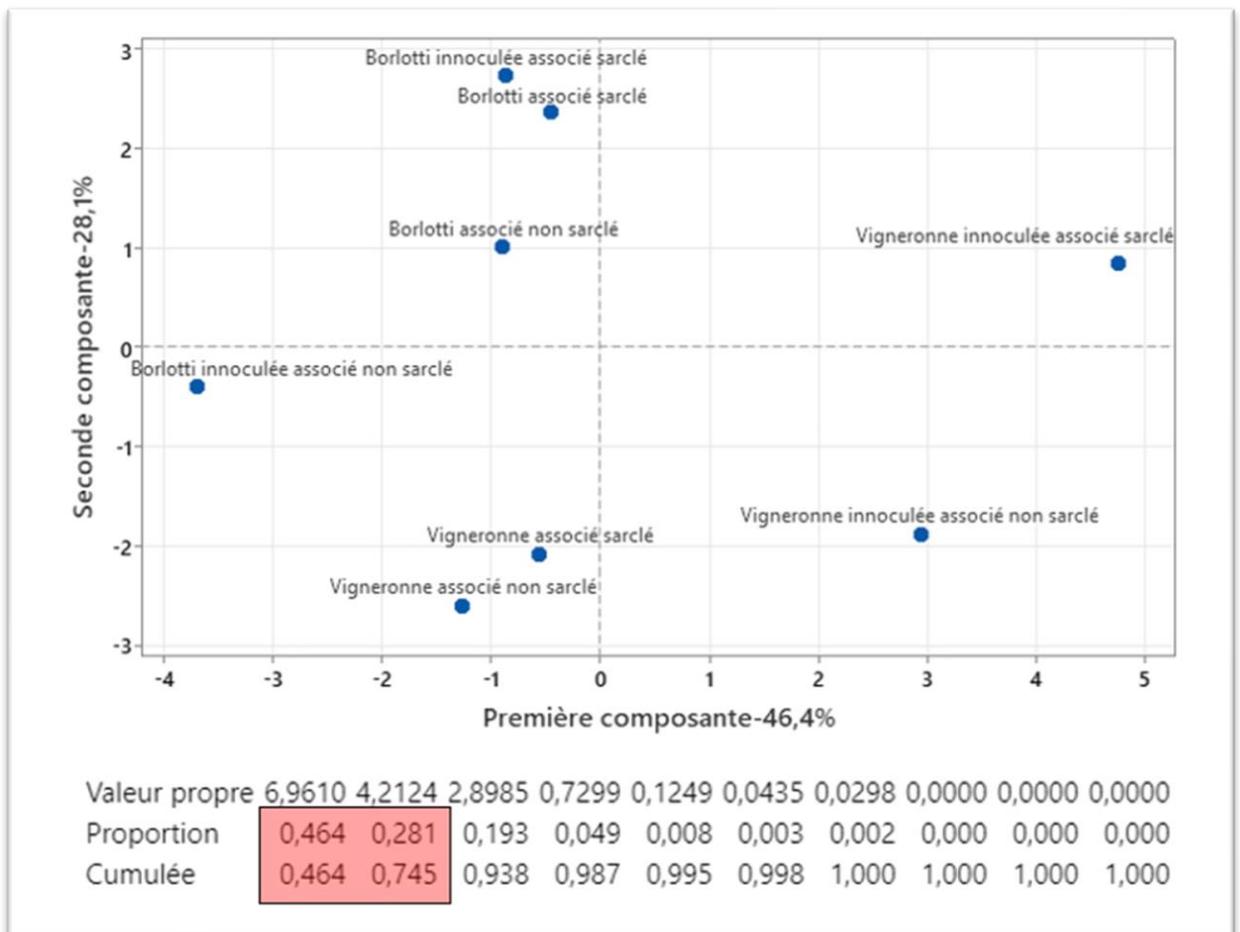
Modalités		WSE maïs	LER	IER haricot 10 CHF/kg	MEY haricot 10 CHF/kg	Rdmt Haricots (kg/ha)	Rdmt Maïs (kg/ha)	Biomasse C (t/ha)	Biomasse A (kg/ha)
Vigneronne inoculée	Sarclée	<b>88,89</b>	<b>1,69</b>	2,07	16098	501	<b>9986</b>	21,5	<b>16</b>
	Non-sarclée	75,76	1,59	<b>2,15</b>	<b>16497</b>	<b>691</b>	8068	19,73	128
Borlotto inoculé	Sarclé	66,67	1,33	1,33	10323	<b>156</b>	8417	22,8	48
	Non-sarclé	<b>43,94</b>	1,25	1,23	9436	181	7231	20,81	<b>296</b>
Vigneronne	Sarclée	77,78	<b>1,02</b>	<b>1,19</b>	<b>9243</b>	349	<b>4981</b>	<b>14,69</b>	32
	Non-sarclée	69,70	1,11	1,38	10539	352	6240	15,72	160
Borlotto	Sarclé	77,78	1,36	1,36	10613	199	8183	22,78	32
	Non-sarclé	57,58	1,44	1,58	12075	323	8132	<b>23,52</b>	224

*Les données de ce tableau sont calculées à partir des moyennes de 5 répétitions*

Afin de visualiser l'ensemble des résultats, pour les modalités en cultures associées, sur un unique graphique, une analyse de composantes principales (ACP) a été effectuée avec les données suivantes : les % de recouvrement (par les cultures, les adventices et le sol nu), les biomasses (des cultures et des adventices), les rendements (en maïs et en haricots), l'indice %WSE par rapport au maïs pur, le LER, le IER pour un prix de 10 CHF/kg et le MEY pour un prix de 10 CHF/kg. Certaines données non traitées dans ce travail (nombre de maïs/UE, nombre de haricots/UE, nombre d'épis/UE et nombre de

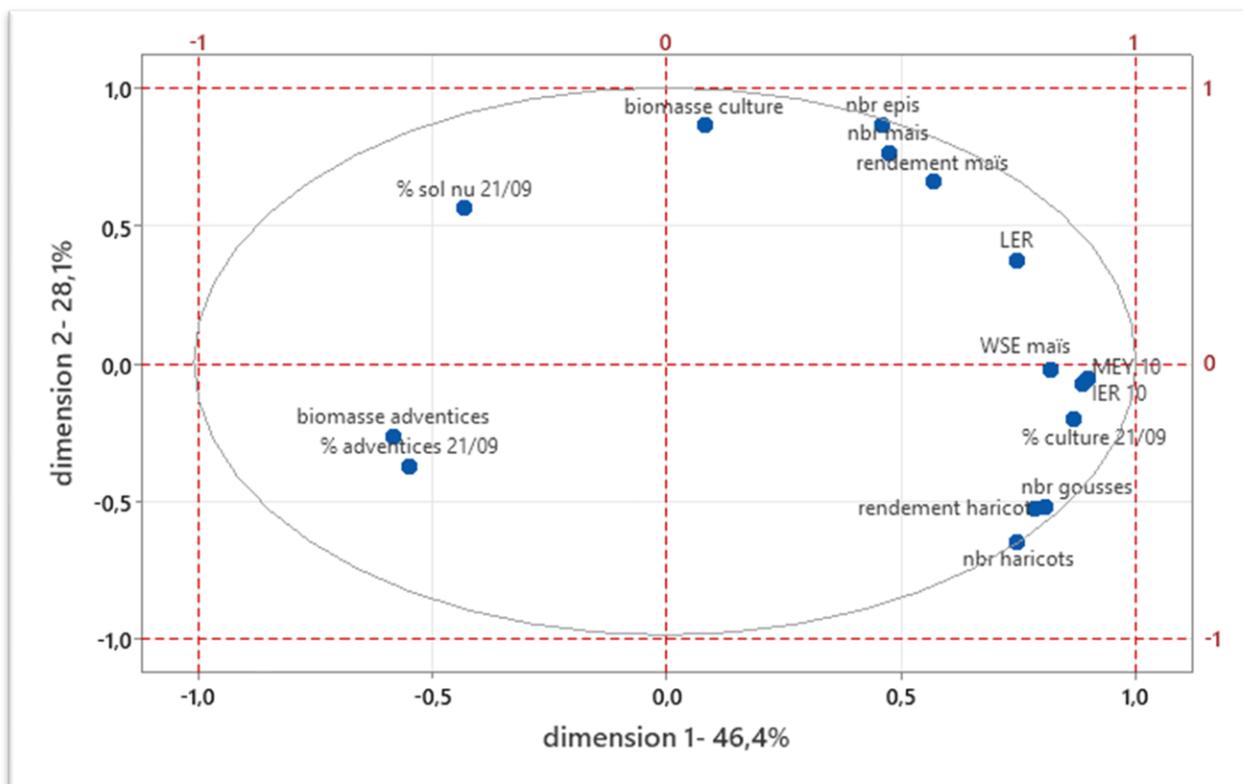
gousses/UE) provenant de l'étude conjointe menée en parallèle sur le même essai (Sonzogni 2021) ont été ajoutée à cette ACP.

Le graphique des individus (Figure 27) possède une qualité de représentation de 74,5% sur ses 2 axes, avec 46,4% de la diversité du nuage de point montrée sur l'axe 1, et 28,1% sur l'axe 2. Ce qui signifie qu'il possède une représentation fidèle à 74,5%. Les modalités d'associations (individus) sont quasiment toutes bien projetées sur la Figure 27, à l'exception des associations Vigneronne sarclée et Borlotto non-sarclé, qui possèdent un  $\cos^2$  inférieurs à 50% (voir statistiques ACP en Annexe 14), et ne pourront pas permettre d'interprétations. Les individus les mieux projetés, avec des  $\cos^2$  avoisinant les 90%, sont les associations avec Vigneronne inoculée sarclée, Borlotto inoculé sarclé, et Vigneronne non-sarclée. Les autres ont des projections convenables mais moins solides ( $\cos^2$  entre 65 et 77%).



**Figure 27: Graphique des individus de l'ACP, avec le pourcentage de la qualité de représentation par les axes 1 et 2 (encadré en rouge), pour les modalités d'associations de cultures maïs-haricot**

Les associations sarclées avec Borlotto et Borlotto inoculé sont proches sur le graphe des individus, et donc similaires, et s'opposent à l'association non-sarclée avec Vigneronne inoculée. L'association non-sarclée avec Borlotto inoculé s'oppose à l'association avec Vigneronne inoculée sarclée. Enfin l'association avec Vigneronne inoculée non-sarclée n'a de proximité avec aucun autre individu, et s'oppose légèrement au groupe des associations sarclée avec Borlotto et Borlotto inoculé. Pour les modalités mal projetées, aucune proximité ou opposition ne peut être tirée de ce graphique (Figure 27).



**Figure 28: Graphique des variables de l'ACP pour les modalités d'associations de cultures maïs-haricot**

Sur le graphe des variables (Figure 28), toutes les variables sont relativement bien représentées, mais la biomasse des adventices, le % d'adventices et le % de sol nu le sont moins bien que les autres. Nous pouvons observer plusieurs groupes qui sont fortement corrélés positivement :

1. Le nbr épis, nbr de maïs et rendement en maïs
2. Le nbr haricots, nbr gousses, rendement haricots, % culture, IER, MEY et WSE
3. La biomasse des adventices et % d'adventices
4. Le LER
5. La biomasse des cultures
6. Le % de sol nu

Étude de l'association de cultures maïs-haricot comme moyen de gestion des adventices, et impacts sur les rendements.

Les corrélations entre les groupes peuvent être négatives ou positives mais avec moins de solidité qu'au sein du groupe. Le groupe 1 est corrélé positivement au LER, à la biomasse des cultures et faiblement au groupe 2 et au % de sol nu (presque indépendant). En revanche il est corrélé négativement avec le groupe 3. Le groupe 2 est corrélé positivement avec le LER, faiblement avec le groupe 1, et indépendant de la biomasse des cultures. Mais il est opposé au groupe 3 ainsi qu'au % de sol nu. Le groupe 3 n'est corrélé positivement qu'avec le % de sol nu, et est opposé à toutes les autres variables.

L'ACP s'interprète de la façon suivante.

- La Vigneronne inoculée sarclée possède des résultats forts pour le LER, et les groupes 1 et 2, alors qu'elle possède des résultats faibles pour le groupe 3.
- La Vigneronne inoculée non-sarclée a des résultats forts pour le groupe 2, le LER, le groupe 1 (mais moins fort) et est faible en % sol nu.
- Les variétés Borlotto inoculé sarclé et Borlotto sarclé ont des résultats importants pour % sol nu, biomasse des cultures et le groupe 1, alors qu'elles ont des résultats faibles pour les variables du groupe 2 (particulièrement nbr gousses, rendement haricots et nbr haricots).
- La variété Vigneronne non-sarclée obtient des résultats importants pour le rendement en haricots, le nbr de haricots et le nbr de gousses, alors qu'elle est faible en biomasse des cultures, % sol nu et pour les variables du groupe 1.
- La variété Borlotto inoculée sarclée a des résultats forts en % adventices, biomasse d'adventices et % sol nu, alors qu'elle possède des valeurs faibles pour les variables des groupes 1 et 2, ainsi que pour le LER.

### **5.5 Discussion générale**

Les résultats obtenus dans cette étude nous montrent clairement une meilleure capacité des cultures associées à couvrir le sol et à réduire l'invasions des adventices, aussi bien en nombre qu'en densité et en biomasse produite. Cette réduction est plus marquée par rapport aux monocultures de haricots, mais reste tout de fois visible par rapport aux maïs purs (surtout en termes de biomasse des adventices). Cette meilleure capacité à maîtriser les adventices est particulièrement flagrante pour Vigneronne inoculée, ce qui peut être dû à l'effet négatif de la bande sur Vigneronne, combiné à la compétitivité plus importante de cette variété. Cependant il est aussi probable que l'inoculant soit responsable de cette concurrence accrue pour les adventices par Vigneronne. Dans tous les cas, il est certain que la variété Vigneronne est plus compétitive que Borlotto, et que cette faculté est bénéfique à la réduction des adventices. Le sarclage joue également un

rôle important, car bien qu'il soit bénéfique au contrôle des adventices chez toutes les modalités, il est encore plus efficace pour les cultures associées. Cet effet est dû également à la meilleure accapuration des ressources par ces dernières, qui ne permettent pas aux adventices de repartir après un sarclage.

Cette hypothèse selon quoi la limitation de adventices se vérifie par l'importance des biomasses des cultures n'est malheureusement pas prouvée en cultures associées, alors qu'elle l'est pour les cultures de pures. Cette différence est probablement due au séchage incomplet des biomasses d'associations contenant du Borlotto.

En revanche, les modalités de Vigneronne inoculées, contrôlant le mieux les adventices, sont les plus performantes en termes de production de grains. Les rendements en haricots de toutes les Vignerones (inoculées et non-inoculées) sont nettement supérieurs aux Borlotti, et ceux en maïs sont inférieurs pour Vigneronne et supérieurs pour Vigneronne inoculée. Il est probable que la compétitivité supérieure de la variété Vigneronne ait tendance à freiner la croissance du maïs, et que ce handicap soit compensé par la capacité, apportée par l'inoculant, de trouver une autre source d'azote limitant. Chez la variété Borlotto, l'inoculant ne semble pas avoir fait effet, car les seules différences observables sont des faiblesses par rapport à la culture non-inoculée.

Pour le sarclage, les avantages apportés pour le contrôle des adventices sont peu visibles au niveau du rendement (sauf pour le rendement en maïs de Vigneronne inoculée sarclée qui est le plus important), mais il est probable que son effet se fasse particulièrement ressentir sur le long terme. Effectivement, nous avons vu qu'il impacte essentiellement le nombre d'adventices, et limite ainsi le stock semencier de ces dernières.

## **6 Conclusion**

Cette étude a pour but d'observer les différences d'invasions d'adventices entre la culture associée de maïs et haricot, par rapport aux cultures pures respectives de maïs et de haricots. Ainsi que les différences de rendements qui peuvent découler d'un contrôle des adventices. Quatre associations sont testées dans cet essai : le maïs « Evolino » avec les variétés de haricots communs « Borlotto Lamon » et « Vigneronne », inoculée et non inoculée avec RhizoFix®. Ces 4 associations, ainsi que leurs cultures pures respectives, sont testées avec et sans sarclage, afin de tenter de mettre en avant des différences entre elles.

Les résultats obtenus montrent bel et bien un impact positif des associations sur le contrôle des adventices, et suggèrent que la variété Vigneronne inoculée est la plus désignée pour remplir ce rôle. Nous avons observé également qu'un passage de

sarclage améliore considérablement ce contrôle par la culture associée (encore plus efficace qu'en culture pure). Cette étude n'a pas cherché à observer les éventuels transferts de nutriments entre les cultures de l'association, cependant il est clair qu'elles se répartissent mieux les ressources du milieu, et que c'est ainsi qu'elles limitent les adventices. Les rendements fournis par les associations avec Vigneronne inoculée sont très intéressants (LER de 1,59 et 1,69) et montrent que cette concurrence, qui permet le contrôle des adventices, n'a pas d'impact négatif sur la production de grains. Les rendements des autres associations sont également tous corrects (LER tous supérieurs à 1).

Cette étude s'inscrit dans la continuité de 2 autres concernant la même association (avec d'autres variétés) à la ferme expérimentale de Mapraz, dans le but de trouver des variétés optimales. L'essai comporte un biais principal dû au fait qu'il ne prend place que sur une bande, avec chaque modalité semée sur les 3 mêmes rangs tout au long de la bande. Ce biais empêche d'affirmer avec certitude si les différences entre variétés sont bien dues à ces variétés ou aux effets de la bande.

Il faut tenir compte du fait que les conditions météorologiques ont été particulières durant l'été 2021, avec beaucoup de pluies, ce qui a engendré un semis tardif mais une réserve hydrique largement suffisante, ce qui n'est pas habituel en été à Genève. Il reste à vérifier comment l'association se comportera en milieu sec.

Il serait intéressant de reproduire cette étude en corrigeant ce biais, afin de vérifier si Vigneronne inoculée est effectivement intéressante pour une telle association. De nouvelles variétés pourraient encore être testées, car il est probable que d'autres soient encore plus performantes, et l'inoculation de ces dernières semble intéressante à essayer également. Au niveau de l'efficacité du contrôle des adventices, il serait intéressant d'observer la prochaine culture qui prendra place sur la parcelle de cet essai (un soja). Afin de rechercher une éventuelle différence entre les stocks semenciers des zones sarclées et non-sarclées, ainsi qu'entre les zones associées et pures. Enfin, de nombreux paramètres liés au contrôle phytosanitaire, qui pourrait être influencé par les associations de cultures, n'ont pas pu être testés dans cet essai (bactéries, arthropodes, champignons, ...). Il serait intéressant de les aborder dans les prochaines études.

## Bibliographie

- Agridea. 2007. "4.5.11 Fiche de Culture Du Maïs." *Bioactualité*.
- . 2020. "Maïs Épi Complet Ou Grain Humide – Contrat de Commercialisation," 2020.
- Agroscope. 2020. "Données Météorologiques de La Sation Troinex - Agrometeo." Confédération Suisse. 2020. <https://www.agrometeo.ch/meteorologie/donnees?stations=68&sensors=1%3Aavg,1%3Amin,1%3Amax,6%3Asum,6%3Acumsum%3A0,15%3Aavg&from=1999-01-01&to=2021-01-01&scale=year&groupBy=station>.
- Aiyer, A.K.Y.N. 1949. "Mixed Cropping in India." *Indian Journal of Agricultural Science* 19: 439–543.
- Altieri, M. A. PhD, and C. I. PhD Nicholls. 2004. *Biodiversity and Pest Management in Agroecosystems Second Edition*. Edited by Amarjit S. Basara. FOOD PRODU.
- Andow, D A. 1991. "VEGETATIONAL DIVERSITY AND ARTHROPOD POPULATION RESPONSE."
- Ariga, E S, G D Odhiambo, and D Friesen. 2001. "Effects of Inter-Cropping Maize and Beans on Striga Incidence and Grain Yield in Western Kenya." *7th International Parasitic Weed Symposium*, no. August: 303.
- Barbosa, Norma, Elizabeth Portilla, Hector Fabio Buendia, Bodo Raatz, and Stephen Beebe. 2018. "Genotypic Differences in Symbiotic Nitrogen Fixation Ability and Seed Yield of Climbing Bean," 223–39.
- BASF SE. 2019. "Le Maïs : Les Chiffres de La Filière." 2019. [https://www.agro.basf.fr/fr/cultures/mais/basf\\_agro\\_et\\_la\\_filiere\\_mais/](https://www.agro.basf.fr/fr/cultures/mais/basf_agro_et_la_filiere_mais/).
- Boudreau, Mark A. 2013. "Diseases in Intercropping Systems." *Annual Review Oh Phtopathology*. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-082712-102246>.
- Brooker, Rob W, Alison E Bennett, Wen-feng Cong, Tim J Daniell, Timothy S George, Paul D Hallett, Cathy Hawes, et al. 2015. "Improving Intercropping : A Synthesis of Research in Agronomy , Plant Physiology and Ecology." *New Phytologist*, 107–17.
- Chang, J. F., and Richard M. Shibles. 1985. "An Analysis of Competition between Intercropped Cowpea and Maize II. The Effect of Fertilization and Population Density." *Field Crops Research* 12 (C): 145–52. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(85\)90060-7](https://doi.org/10.1016/0378-4290(85)90060-7).
- Choudhary, V. K., and B. U. Choudhury. 2018. "A STAGGERED MAIZE-LEGUME INTERCROP ARRANGEMENT INFLUENCES YIELD, WEED SMOTHERING and NUTRIENT BALANCE in the EASTERN HIMALAYAN REGION of INDIA." *Experimental Agriculture* 54 (2): 181–200. <https://doi.org/10.1017/S0014479716000144>.
- Cordeau, S, N Munier-Jolain, and G Adeux. 2020. "Les Pertes de Rendement Sont Atténuées En Présence d'une Diversité d'adventices." *Innovations Agronomiques* 81: 69–89.
- D Bayley. 2001. "Efficient Weed Management." *NSW Agriculture Paterson NSW*.
- Dania, S. O., O. Fagbola, and R. A. Alabi. 2014. "THE YIELD AND FARMER ' S ECONOMIC ADVANTAGE OF MAIZE - PIGEON PEA INTERCROP AS AFFECTED BY THE APPLICATION OF ORGANIC BASE FERTILIZER" 10 (25).
- FAO. 2016. "FAO - Nouvelles: Continuer à Promouvoir Les Légumineuses à Grains." 2016. <http://www.fao.org/news/story/fr/item/454250/icode/>.
- Finch, S., and Rosemary H. Collier. 2012. "The Influence of Host and Non-Host Companion Plants on the Behaviour of Pest Insects in Field Crops." *Entomologia Experimentalis et Applicata* 142 (2): 87–96. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2011.01191.x>.
- FranceAgriMer. 2021. "HARICOT - Prix Cours Marché - Fruits et Légumes." Réseau Des Nouvelles Des Marchés. 2021. <https://rnm.franceagrimer.fr/prix>.
- Frolov, Andrei N, Denis Bourguet, and Sergine Ponsard. 2007. "Reconsidering the Taxonomy of Several Ostrinia Species in the Light of Reproductive Isolation : A

Étude de l'association de cultures maïs–haricot comme moyen de gestion des adventices, et impacts sur les rendements.

- Tale for Ernst Mayr,” 49–72.
- Fukai, S., and D. J. Midmore. 1993. “Adaptive Research for Intercropping: Steps towards the Transfer of Intercrop Research Findings to Farmers’ Fields.” *Field Crops Research* 34 (3–4): 459–67. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(93\)90126-8](https://doi.org/10.1016/0378-4290(93)90126-8).
- GRANGEON, Romain. 2006. “Mesure de l’indice Foliaire de La Canne à Sucre Par Deux Méthodes Indirectes Résumé,” 1–22.
- Heichel, G. H., and K. I. Henjum. 1991. “Dinitrogen Fixation, Nitrogen Transfer, and Productivity of Forage Legume-Grass Communities.” *Crop Science* 31 (1): 202–8. <https://doi.org/10.2135/cropsci1991.0011183x003100010045x>.
- Jabran K. 2017. “Maize Allelopathy for Weed Control,” 29–34. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-53186-1>.
- Kato-Noguchi, Hisashi. 2008. “Effects of Four Benzoxazinoids on Gibberellin-Induced  $\alpha$ -Amylase Activity in Barley Seeds.” *Journal of Plant Physiology* 165 (18): 1889–94. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2008.04.006>.
- Kunkler, Didier, and Maurice Clerc. 2013. “Les Cultures Associées de Légumineuses à Graines – Un Substitut Partiel Aux Importations de Soja.” <https://www.bioactualites.ch/cultures/grandes-cultures-bio/cult-assoc/flyer-cultures-associes.html>.
- Liebenberg, B.C. 1997. “INTERCROPPING OF MAIZE AND DRY BEANS FOR THE VULINDLELA DISTRICT OF KWAZULU-NATAL.” Pietermaritzburg.
- Lithourgidis, A, Christos Dordas, Christos A Damalas, and D N Vlachostergios. 2011. “Annual Intercrops : An Alternative Pathway for Sustainable Agriculture Review Article Annual Intercrops : An Alternative Pathway for Sustainable Agriculture,” no. May 2014.
- Mead, R., and R. W. Willey. 1980. “The Concept of a ‘Land Equivalent Ratio’ and Advantages in Yields from Intercropping.” *Experimental Agriculture* 16 (3): 217–28. <https://doi.org/10.1017/S0014479700010978>.
- Meier, Uwe. 2001. “BBCH Monografie.” [https://www.openagrar.de/receive/openagrar\\_mods\\_00042352](https://www.openagrar.de/receive/openagrar_mods_00042352).
- Molnár, Béla Péter, Zoltán Tóth, Alexandra Fejes-Tóth, Teun Dekker, and Zsolt Kárpáti. 2015. “Electrophysiologically-Active Maize Volatiles Attract Gravid Female European Corn Borer, *Ostrinia Nubilalis*.” *Journal of Chemical Ecology* 41 (11): 997–1005. <https://doi.org/10.1007/s10886-015-0640-4>.
- Moseley, William G. 1994. “An Equation for the Replacement Value of Agroforestry An Equation for the Replacement Value of Agroforestry,” no. April 1994. <https://doi.org/10.1007/BF00705151>.
- Muller, Clair. 2019. “Le Maïs Allié Au Haricot Permet d’espérer l’autonomie Alimentaire – Terre & Nature.” Terre et Nature. 2019. <https://www.terrenature.ch/le-mais-allie-au-haricot-permet-desperer-lautonomie-alimentaire/>.
- OFS. 2020. “Agriculture et Alimentation Statistique de Poche 2020.” *Confédération Suisse*. <https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiques/catalogues-banques-donnees/graphiques.assetdetail.13127967.html>.
- Oljaca, S., R. Cvetkovic, D. Kovacevic, G. Vasic, and N. Momirovic. 2000. “Effect of Plant Arrangement Pattern and Irrigation on Efficiency of Maize (*Zea Mays*) and Bean (*Phaseolus Vulgaris*) Intercropping System.” *Journal of Agricultural Science* 135 (3): 261–70. <https://doi.org/10.1017/S0021859699008321>.
- Olorunmaiye, P. M. 2010. “Weed Control Potential of Five Legume Cover Crops in Maize / Cassava Intercrop in a Southern Guinea Savanna Ecosystem of Nigeria.” *Australian Journal of Crop Science* 4 (5): 324–29.
- Pascale, Stefania de, Luisa Dalla Costa, Simona Vallone, Giancarlo Barbieri, and Albino Maggio. 2011. “Increasing Water Use Efficiency in Vegetable Crop Production: From Plant to Irrigation Systems Efficiency.” *HortTechnology* 21 (3): 301–8. <https://doi.org/10.21273/horttech.21.3.301>.
- Perrin, R. M. 1976. “Pest Management in Multiple Cropping Systems.” *Agro-Ecosystems* 3 (C): 93–118. [https://doi.org/10.1016/0304-3746\(76\)90110-4](https://doi.org/10.1016/0304-3746(76)90110-4).
- Piccot, Ludovic. 2020. “Rapport d’Essai Maïs -Haricot 2019 à La Ferme

Étude de l’association de cultures maïs–haricot comme moyen de gestion des adventices, et impacts sur les rendements.

- Expérimentale de Mapraz ( GE ),” 1–9.
- . 2021. “Rapports Des Essais 2020 de La Ferme Expérimentale de Mapraz (GE).”
- Ramseier, Hans, and Michaela Burkhart Pastor. 2018. “Mais-Bohnen-Gemisch Beobachtungen Und Erhebungen, Ertrag Und Wirtschaftliche Aspekte Des Mais-Bohnen-Gemischs Als Nahrungsmittel.” Zollikofen.
- Root, Richard B. 1973. “Organization of a Plant-Arthropod Association in Simple and Diverse Habitats : The Fauna of Collards ( Brassica Oleracea ) Author ( s ) : Richard B . Root Published by : Ecological Society of America Stable URL : [Http://Www.Jstor.Org/Stable/1942161](http://www.jstor.org/stable/1942161) OF A PL.” *Ecological Monographs* 43 (1): 95–124.
- Schoeny, Alexandra, Stéphane Jumel, François Rouault, Emile Lemarchand, and Bernard Tivoli. 2010. “Effect and Underlying Mechanisms of Pea-Cereal Intercropping on the Epidemic Development of *Ascochyta* Blight.” *European Journal of Plant Pathology* 126 (3): 317–31. <https://doi.org/10.1007/s10658-009-9548-6>.
- Shii, C. T., A. Rabakoarihanta, M. C. Mok, and D. W.S. Mok. 1982. “Embryo Development in Reciprocal Crosses of *Phaseolus Vulgaris* L. and *P. Coccineus* Lam.” *Theoretical and Applied Genetics* 62 (1): 59–64. <https://doi.org/10.1007/BF00276284>.
- Smith, Hugh Adam, and Robert Mcsorley. 1994. “Intercropping and Pest Management : A Review of Major Concepts,” no. 1.
- Solagro. 2016. “Fiche Technique-Tri Des Semences.” *Osaé*. Vol. 3.1.
- Songa, J M, N Jiang, F Schulthess, and C Omwega. 2007. “The Role of Intercropping Different Cereal Species in Controlling Lepidopteran Stemborers on Maize in Kenya” 131 (1): 40–49. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2006.01116.x>.
- Sonzogni, Timothé. 2021. “Évaluation de La Productivité et Des Nutritions En Azote et En Phosphore Des Cultures Associées de Maïs et de Haricot Grimpant En Grandes Cultures.” Hepia.
- Terres Inovia. 2018. “Colza Associé.” Agroscope. 2018. <https://www.agroscope.admin.ch/agroscope/fr/home/themes/production-vegetale/grandes-cultures/cultures/culture-associee/colza-associe.html>.
- Thobatsi, Thobatsi. 2009. “Growth and Yield Responses of Maize (*Zea Mays* L.0) and Cowpea (*Vigna Unguiculata* L.) in an Intercropping System,” no. January: 1–142.
- Tsubo, M, S Walker, and E Mukhala. 2001. “Comparisons of Radiation Use Efficiency of Mono- / Inter-Cropping Systems with Different Row Orientations.” *ELSEVIER* 71.
- Vandermeer, John H. 1989. *The Ecology of Intercropping*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511623523>.
- Wilker, Jennifer, Alireza Navabi, Istvan Rajcan, Frédéric Marsolais, Brett Hill, Davoud Torkamaneh, and K. Peter Pauls. 2019. “Agronomic Performance and Nitrogen Fixation of Heirloom and Conventional Dry Bean Varieties Under Low-Nitrogen Field Conditions.” *Frontiers in Plant Science* 10 (July): 1–21. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00952>.
- Wiley, R. W. 1990. “Resource Use in Intercropping Systems.” *Agricultural Water Management* 17 (1–3): 215–31. [https://doi.org/10.1016/0378-3774\(90\)90069-B](https://doi.org/10.1016/0378-3774(90)90069-B).
- WOLLEY, J, and J.H.C. DAVIS. 1991. “The Agronomy of Intercropping with Beans.” *Improvement., OYSET (Eds): Common Beans: Research for Crop CAB International, CIAT, Colombia, P., no. SCHOONHOVEN, A. and M.: 980.*

## Annexe 1 : Fiche descriptive de la ferme pilote de Mapraz (GE)



### Ferme pilote de Mapraz, Thônex/GE

#### Mot du producteur

Dans les régions propices aux grandes cultures, de nombreuses exploitations sans bétail se posent la question d'une reconversion à l'agriculture biologique.

- est-il possible de vivre d'une exploitation bio de grandes cultures et sans bétail ?
  - les rendements physiques et économiques sont-ils suffisants ?
  - quels sont les principaux problèmes et comment les résoudre ?
- L'objectif principal de la Ferme pilote de Mapraz consiste à chercher des réponses à ces questions.

Cet essai système a débuté en 1999 sur un petit domaine à Thônex / GE.

12 parcelles de 30m x 90 m permettent de travailler avec de la mécanisation standard.



#### L'exploitation en bref

Altitude	400 m
Pluviométrie	900 mm
SAU	6 ha
Types de sol	Sols lourds (40-50% Argile, pH 7,7à7,9) Production bio depuis 1999

#### Productions végétales

Céréales légumineuses et prairies temporaires  
Pas de bétail, pas de fumure

#### Techniques de production

##### Rotation de cultures :

2 rotations de cultures de 6 ans sont en place avec respectivement une et 2 ans de prairie temporaire. Dans les 2 rotations, la moitié de l'assolement est en légumineuses à graines ou en prairie temporaire.

**Fertilisation** : aucune fumure. Nous travaillons avec la rotation, alternance de légumineuses et céréales.

##### Adventices :

- Rotation de culture
- Déchaumages après céréales et féverole
- Labour presque systématique
- Densité de semis élevée
- Herse étrille dans les céréales et la féverole

#### Adresse

Ferme Pilote de Mapraz  
Josy Taramarcz  
AGRIDEA  
1000 Lausanne 6  
021 619 44 24 / 079 347 47 69  
[josy.taramarcz@agridea.ch](mailto:josy.taramarcz@agridea.ch)

#### Terres assolées

- Céréales : blé, millet
- Légumineuses à graines : féverole d'automne
- Prairie temporaires avec luzerne, 1 et 2 ans d'utilisation

#### Vision du producteur et résultats

Bien que l'idéal soit d'avoir des animaux sur la ferme, on peut tout à fait cultiver sans. Pour garder la fertilité du sol, il faut avoir assez de prairies temporaires. Nous avons choisi de ne faire aucun apport de fertilisant extérieur et travaillons avec la rotation et les légumineuses. Le niveau des rendements après 15 ans sans fumure (blé : 32 dt/ha ; féverole : 27 dt/ha) est plus important que ce qu'on attendait. Les problèmes techniques principaux sont le chardon et le vulpin.

- Pour lutter contre le **chardon**, nous avons passé de 1 à 2 ans de prairies temporaire avec un bon succès.
- Des déchaumages systématiques après les moissons ont également eu un effet de réduction sur le chardon.



- Nous avons réduit fortement la pression du **vulpin des champs**, par des faux-semis et un semis retardé.
- La prairie temporaire n'a malheureusement pas d'effet répressif sur le vulpin.

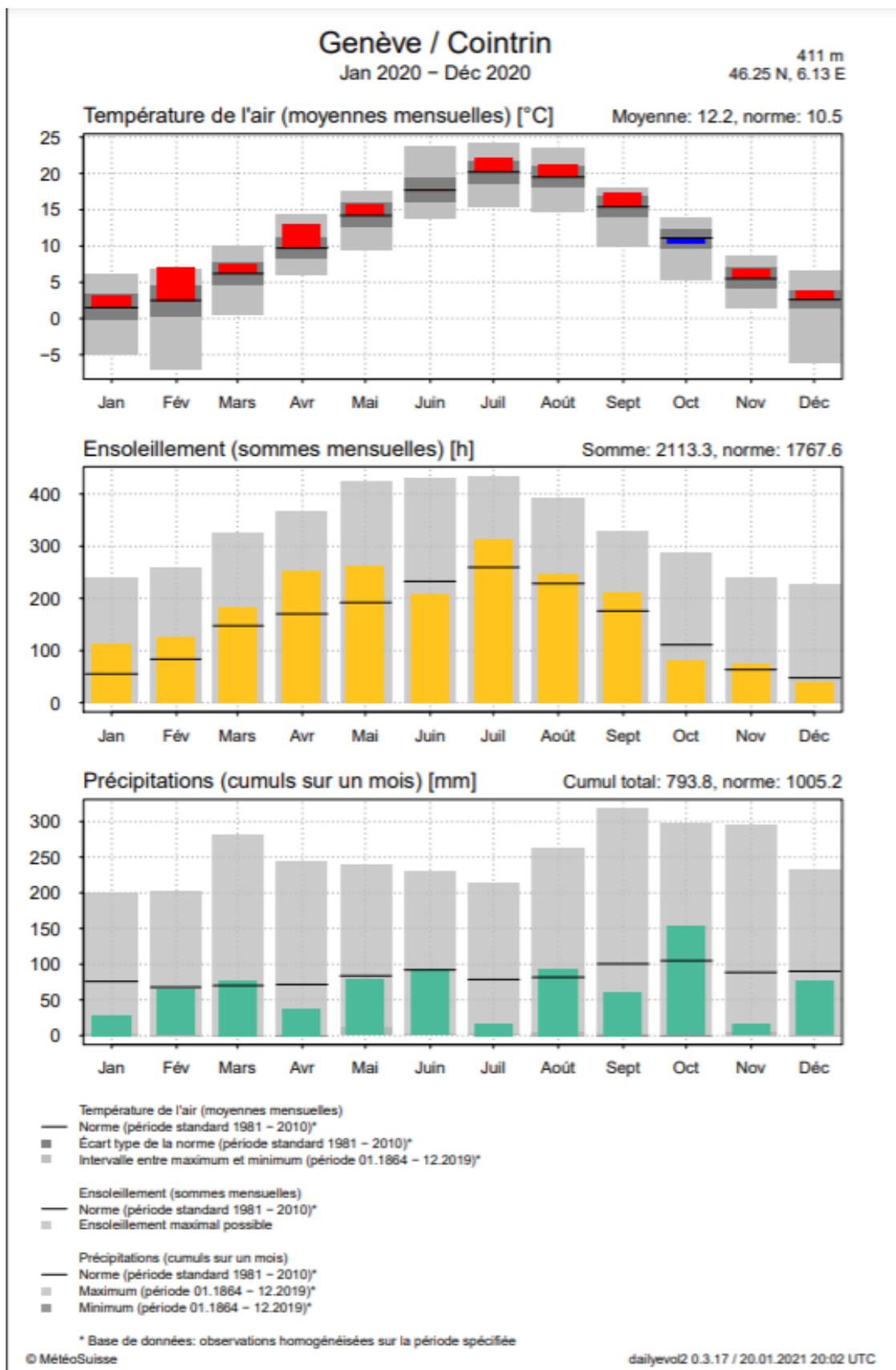


- La **folle avoine** est en recrudescence dans la région et nous pousse à modifier notre rotation. Nous avons introduit le millet pour avoir une culture d'été et casser le rythme pour cette mauvaise herbe.



## Annexe 2 : Conditions climatiques de la parcelle

Valeurs fournies par la station météorologique cantonale de Cointrin



Étude de l'association de cultures maïs–haricot comme moyen de gestion des adventices, et impacts sur les rendements.

Arthur Chappuis

### Valeurs fournies par la station météorologique agricole de Troinex (Agrométéo)

Date	TROINEX - Température moy. (°C)	TROINEX - Température min.(°C)	TROINEX - Température max.(°C)	TROINEX - Précipitation s tot.(mm ou litres/m2)	TROINEX - Précipitation s intensité (mm/h)
2008	12.4	-29.7	31.1	702.8	40.8
2009	11.1	-29.8	35	822.2	68.4
2010	10.2	-26.2	33.7	688.8	62.4
2011	11.7	-29.5	35.2	735.4	36
2012	11.1	-12.6	36.1	1038.8	58.8
2013	10.4	-8.5	34.5	1293	57.6
2014	11.8	-5.1	32.5	942	45.6
2015	11.8	-5.6	38	641	27.6
2016	11.2	-4.8	35.2	886.2	76.8
2017	11.4	-6.7	35.3	229.8	28.8
2018	12.4	-12.4	35.3	679.4	67.2
2019	11.8	-5.6	37.9	1089.7	106.8
2020	12.1	-5.3	37.2	895.5	159
Moyennes	11,5	-14	36,5	958,666666 7	97,5

(Agroscope 2020)

## Annexe 3 : Analyse de sol

Laboratoire et bureau d'étude au service de l'agriculture et de la protection de l'environnement



www.sol-conseil.ch



N° commande: 19-00778  
 N° client: 10566  
 Projet: PROJET LUPIN  
 Date de réception: 03.05.2019  
 Copie à: FIBL : M. Wendling

Gland, le 24.05.2019

FERME PILOTE DE MAPRAZ  
 Mr. Josy Tamarcaz  
 Ch. de Mapraz  
 1226 THÔNEX

### RAPPORT

N° échantillon: 19-00778-001  
 Nom de l'échantillon: MAPRAZ  
 Matériel: TERRES

#### CARTE DE VISITE

Paramètre	Méthode	Résultat	Unité	Interprétation
Gravier	Estimation visuelle	0%		non graveleux
Argile	GRAN	46,4	%	
Silt	GRAN	34,9	%	sol lourd argileux
Sable	GRAN	18,7	%	
MO	Corg(MO)	5,2	%	satisfaisant
pH	pH H2O	7,9		alcalin
CaCO3 tot.	CaCO3	10,7	%	peu calcaire
Ca++	Ca++	5,1	%	

#### ELEMENTS SOLUBLES

Paramètre	Méthode	Résultat	Unité	Interprétation					F.corr.
				pauvre	médiocre	satisfaisant	riche	très riche	
P2O5	CO2-CACL2	2,5	indice	[Bar chart showing P2O5 level]					1,1
K2O	CO2-CACL2	0,7	indice	[Bar chart showing K2O level]					1,0
Mg	CO2-CACL2	6,1	indice	[Bar chart showing Mg level]					1,6

Conseiller: Jonas Siegrist

Les résultats d'analyses correspondent aux échantillons transmis au laboratoire. La reproduction de ce rapport n'est autorisée que dans sa forme intégrale. Les responsabilités de Sol-Conseil sont limitées aux conditions générales.

## Haricot Feller et al., 1995 b

### Échelle BBCH des stades phénologiques du haricot (*Phaseolus vulgaris* L. var. *nanus*)

---

Code	Définition
------	------------

---

#### Stade principal 0: germination

00	semence sèche
01	début de l'imbibition de la graine
03	imbibition complète
05	la radicule sort de la graine
07	hypocotyle et cotylédons percent les téguments de la graine
08	hypocotyle et cotylédons se dirigent vers la surface du sol
09	levée: les cotylédons percent la surface du sol

---

#### Stade principal 1: développement des feuilles

10	les cotylédons sont étalés
12	2 feuilles sont étalées (une paire de feuilles est étalée)
13	3 feuilles étalées (première feuille trifoliolée)
1 .	et ainsi de suite ...
19	9 ou davantage de feuilles étalées (2 feuilles simples et 7 ou davantage de feuilles trifoliolées)

---

#### Stade principal 2: formation de pousses latérales

21	la première pousse latérale est visible
22	2 pousses latérales sont visibles
23	3 pousses latérales sont visibles
2 .	et ainsi de suite ...
29	9 ou davantage de pousses latérales sont visibles

---

#### Stade principal 5: apparition de l'inflorescence

51	les premiers boutons floraux sont visibles et dépassent les feuilles
55	les premiers boutons floraux individuels, mais toujours fermés sont visibles et dépassent les feuilles
59	les premiers pétales sont visibles, les boutons floraux sont nombreux mais toujours fermés

---

# Haricot Feller et al., 1995 b

## Échelle BBCH des stades phénologiques du haricot

---

Code	Définition
------	------------

---

### Stade principal 6: la floraison

60	les premières fleurs sont ouvertes (sporadiquement)
61	début de la floraison <sup>2</sup>
62	20% des fleurs sont ouvertes <sup>1</sup>
63	30% des fleurs sont ouvertes <sup>1</sup>
64	40% des fleurs sont ouvertes <sup>1</sup>
65	pleine floraison: 50% des fleurs sont ouvertes <sup>1</sup> période de floraison principale <sup>2</sup>
67	la floraison s'achève: la majorité des pétales sont tombés ou desséchés <sup>1</sup>
69	fin de la floraison: les premières gousses sont visibles <sup>1</sup>

---

### Stade principal 7: développement du fruit

71	10% des gousses ont atteint leur longueur finale <sup>1</sup> , début du développement des gousses <sup>2</sup>
72	20% des gousses ont atteint leur longueur finale <sup>1</sup>
73	30% des gousses ont atteint leur longueur finale <sup>1</sup>
74	40% des gousses ont atteint leur longueur finale <sup>1</sup>
75	50% des gousses ont atteint leur longueur finale, les graines commencent à remplir la gousse <sup>1</sup> , période principale du développement des gousses <sup>2</sup>
76	60% des gousses ont atteint leur longueur finale <sup>1</sup>
77	70% des gousses ont atteint leur longueur finale, les gousses se cassent proprement <sup>1</sup>
78	80% des gousses ont atteint leur longueur finale <sup>1</sup>
79	les gousses ont atteint leur longueur finale, les haricots sont visibles individuellement <sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Pour les variétés à période de floraison limitée

<sup>2</sup> Pour les variétés à période de floraison non limitée

# Haricot Feller et al., 1995 b

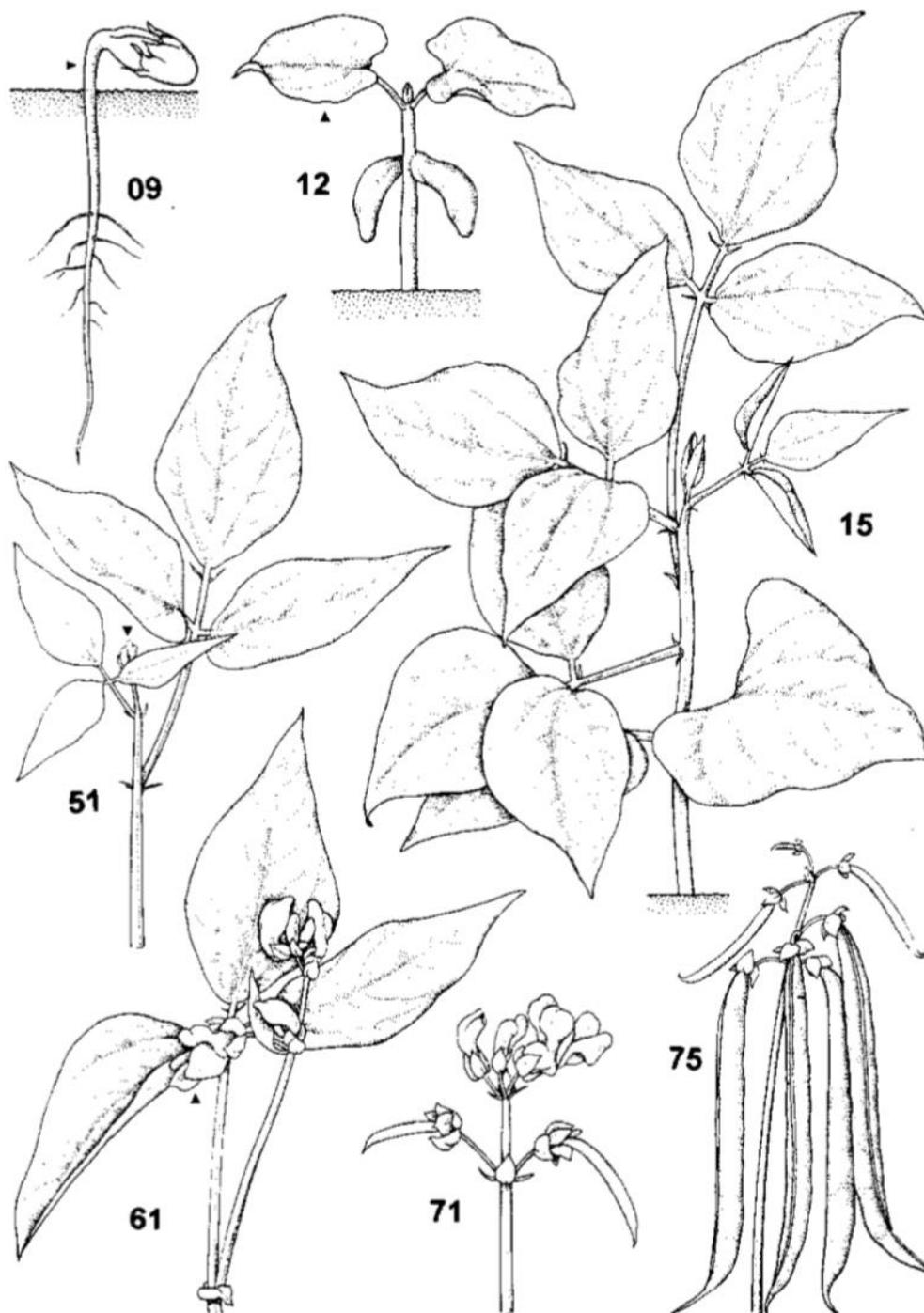
## Échelle BBCH des stades phénologiques du haricot

Code	Définition
<b>Stade principal 8: maturation des fruits et graines</b>	
81	10% des gousses sont mûres (les graines sont dures) <sup>1</sup> , début de la maturation des graines <sup>2</sup>
82	20% des gousses sont mûres (les graines sont dures) <sup>1</sup>
83	30% des gousses sont mûres (les graines sont dures) <sup>1</sup>
84	40% des gousses sont mûres (les graines sont dures) <sup>1</sup>
85	50% des gousses sont mûres (les graines sont dures) <sup>1</sup> , période de maturation principale <sup>2</sup>
86	60% des gousses sont mûres (les graines sont dures) <sup>1</sup>
87	70% des gousses sont mûres (les graines sont dures) <sup>1</sup>
88	80% des gousses sont mûres (les graines sont dures) <sup>1</sup>
89	maturation complète: les gousses sont mûres (les graines dures) <sup>1</sup>
<b>Stade principal 9: sénescence</b>	
97	la plante est morte
99	produit après récolte

<sup>1</sup> Pour les variétés à période de floraison limitée

<sup>2</sup> Pour les variétés à période de floraison non limitée

# Haricot



© 1994: BBA und IVA

□ **Maïs** Weber und Bleiholder, 1990; Lancashire et al., 1991

**Échelle BBCH des stades phénologiques du maïs**  
(*Zea mays* L.)

Code	Définition
<b>Stade principal 0: germination, levée</b>	
00	semence sèche (caryopse sec)
01	début de l'imbibition de la graine
03	imbibition complète
05	la radicule sort de la graine
06	élongation de la radicule, apparition de poils absorbants et développement des racines secondaires
07	le coléoptile sort de la graine
09	levée: le coléoptile perce la surface du sol
<b>Stade principal 1: développement des feuilles<sup>1,2</sup></b>	
10	la première feuille sort du coléoptile
11	première feuille étalée
12	2 feuilles étalées
13	3 feuilles étalées
1 .	et ainsi de suite ...
19	9 ou davantage de feuilles étalées
<b>Stade principal 3: élongation de la tige principale<sup>3</sup></b>	
30	début de l'élongation de la tige principale
31	le premier nœud est discernable
32	2 nœuds sont discernables
33	3 nœuds sont discernables
3 .	et ainsi de suite ...
39	9 ou davantage de nœuds sont discernables
<b>Stade principal 5: sortie de l'inflorescence ou épiaison</b>	
51	l'inflorescence terminale (panicule M) commence à sortir, elle est discernable à l'extrémité de la tige principale
53	extrémité de la panicule terminale visible
55	50% de la panicule terminale visible, les rameaux de la panicule commencent à s'écarter
59	la panicule terminale est complètement sortie et les rameaux de la panicule sont étalés

<sup>1</sup> Une feuille est étalée si sa ligule est visible ou si l'extrémité de la prochaine feuille est visible

<sup>2</sup> Le tallage ou l'élongation de la tige principale peut intervenir avant le stade 19, dans ce cas continuez avec le stade de développement principal 3

<sup>3</sup> Pour le maïs l'inflorescence terminale peut apparaître avant le stade 39, dans ce cas continuez avec le stade de développement principal 5

# Maïs Weber und Bleiholder, 1990; Lancashire et al., 1991

## Échelle BBCH des stades phénologiques du maïs

---

Code	Définition
------	------------

---

### Stade principal 6: floraison, anthèse

61	M: étamines visibles au milieu de la panicule, F: extrémité de l'épi sort de la gaine
63	M: début de l'émission du pollen, F: extrémité des stigmates visibles
65	M: partie supérieure et inférieure de la panicule en fleurs, F: stigmates à maturité
67	M: la floraison s'achève, F: les stigmates se dessèchent
69	fin floraison, les stigmates sont complètement desséchés

---

### Stade principal 7: développement des graines

71	début du développement des graines, stade aqueux des graines, environ 16% de matière sèche
73	début du stade laiteux
75	les graines au milieu de l'épi sont jaunâtres, le contenu est laiteux, environ 40% de matière sèche
79	presque toutes les graines ont atteint leur taille finale

---

### Stade principal 8: maturation des graines

83	début du stade pâteux: contenu des graines tendre, environ 45% de matière sèche
85	stade pâteux: graines jaunâtres à jaunes, environ 55% de matière sèche
87	maturité physiologique: à la base des graines un point noir est visible, environ 60% de matière sèche
89	maturité complète: les graines sont dures et brillantes, environ 65% matière sèche

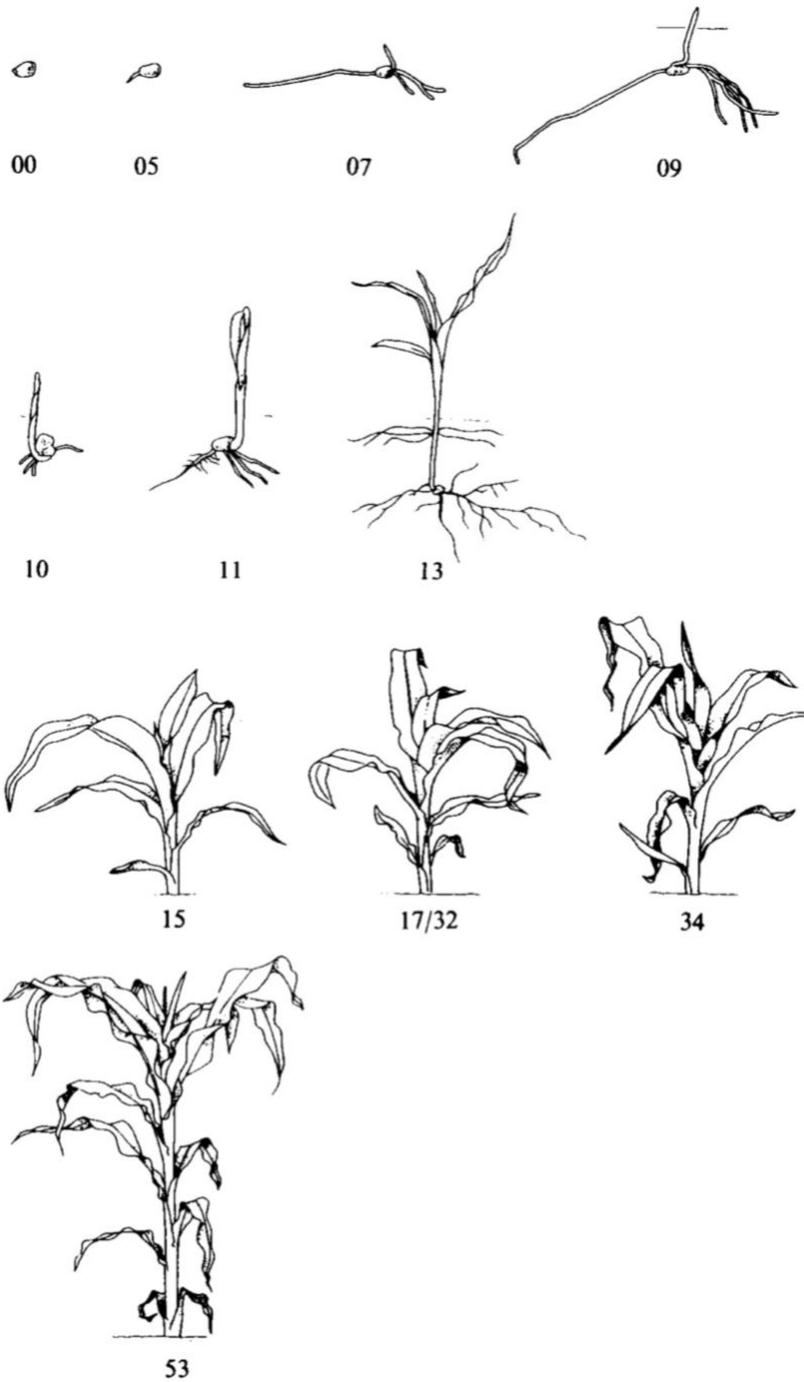
---

### Stade principal 9: sénescence

97	la plante meurt et s'affaisse
99	produit après récolte

---

# Maïs



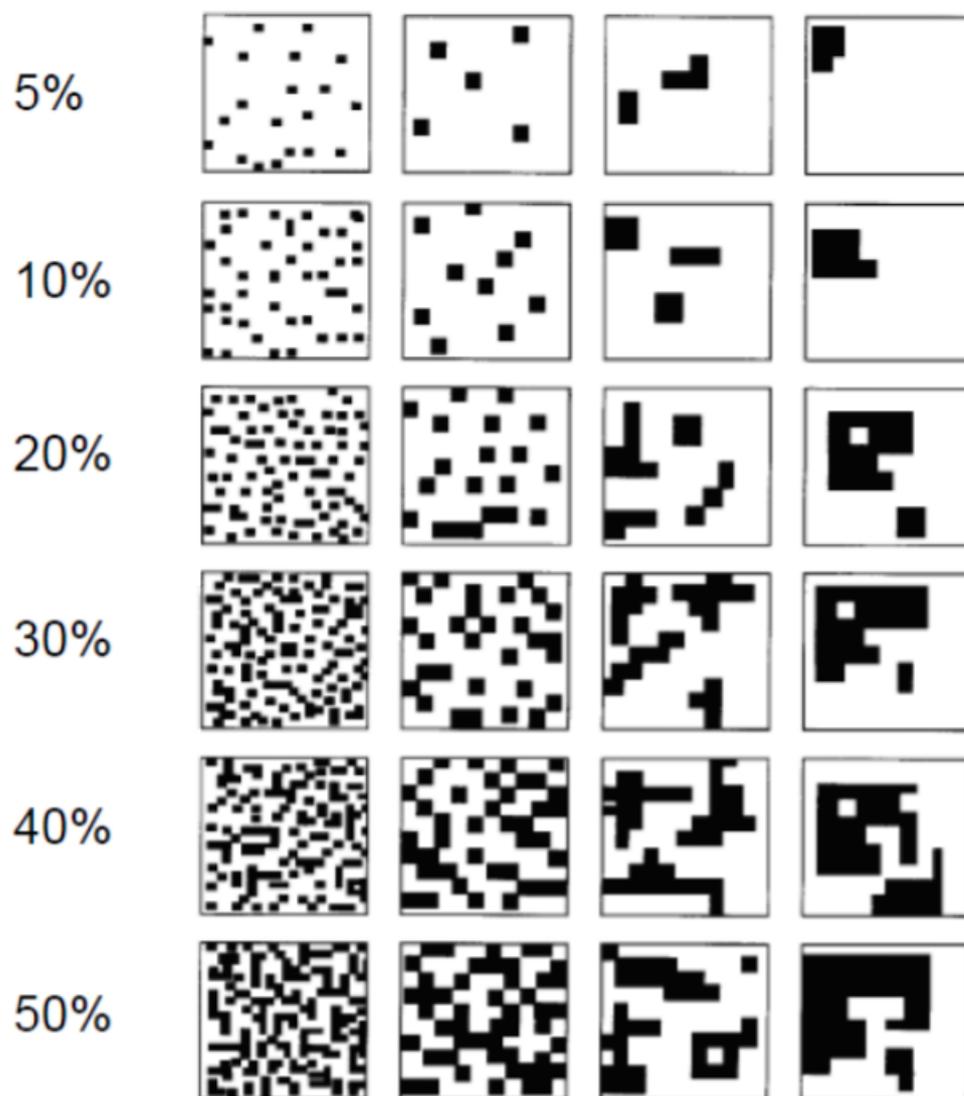
© 1989: BASF SA

# Maïs



## Annexe 5 : Fiche d'estimation visuelle du recouvrement

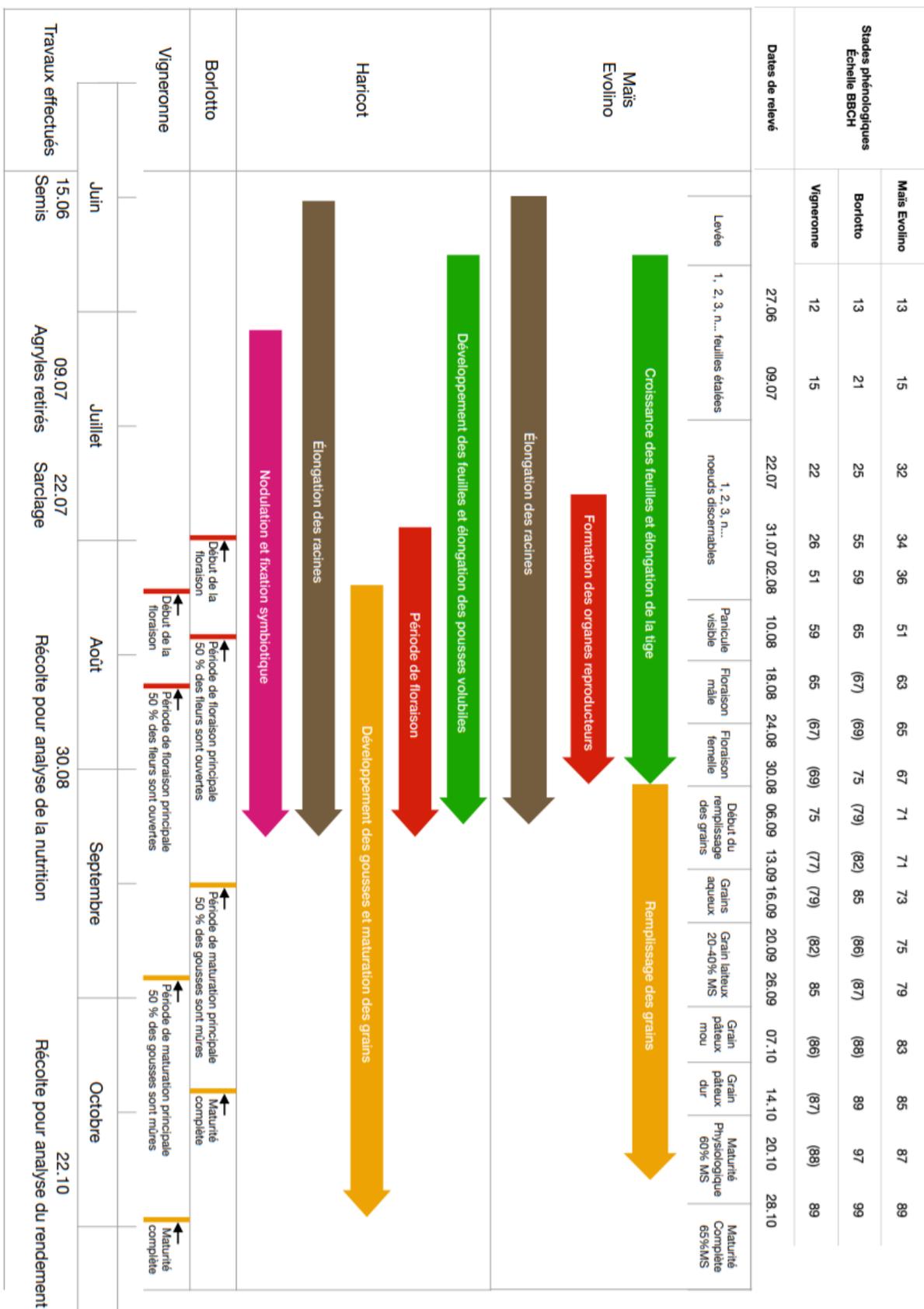
Fiche d'estimation du recouvrement du sol par les cultures + adventices et/ou le mulch ainsi que par les cailloux



Bayley, D (2001) *Efficient Weed Management*. NSW Agriculture Paterson NSW.

(D Bayley 2001)

## Annexe 6 relevés des stades phénologiques



Étude de l'association de cultures maïs-haricot comme moyen de gestion des adventices, et impacts sur les rendements.

## Annexe 7 : Statistique (ANOVA) pour le % sol nu

### 7 septembre

#### Analyse de la variance

Source	DL	SomCar ajust	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
Modalités	17	75,68	4,4518	5,10	0,00000058
bloc	4	53,20	13,3004	15,25	0,00000001
Erreur	68	59,32	0,8723		
Total	89	188,20			

Informations de groupement avec la méthode de la plus petite différence significative (LSD) de Fisher et un niveau de confiance de 95 %

Modalités	N	Moyenne	Groupement
Borlotti pure sarclé	5	7,25924	A
Borlotti inoculée pure sarclé	5	6,70349	A B
Vigeronne pure sarclé	5	6,10616	A B C
Mais pure sarclé	5	5,89018	B C D
Borlotti pure non sarclé	5	5,71367	B C D E
Mais pure non sarclé	5	5,33243	C D E
Borlotti inoculée pure non sarclé	5	5,18522	C D E
Borlotti inoculée associé sarclé	5	5,17309	C D E
Borlotti associé sarclé	5	4,98987	C D E F
Borlotti inoculée associé non sarclé	5	4,80554	D E F G
Vigeronne inoculée pure sarclé	5	4,75434	D E F G
Borlotti associé non sarclé	5	4,73355	D E F G
Vigeronne associé sarclé	5	4,65890	E F G
Vigeronne inoculée pure non sarclé	5	4,59592	E F G
Vigeronne pure non sarclé	5	4,56639	E F G
Vigeronne associé non sarclé	5	3,99281	F G
Vigeronne inoculée associé non sarclé	5	3,84414	F G
Vigeronne inoculée associé sarclé	5	3,70853	G

Les moyennes ne partageant aucune lettre sont significativement différentes.

### 21 septembre

#### Analyse de la variance

Source	DL	SomCar ajust	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
Modalités	17	91,30	5,3703	6,52	0,00000001
bloc	4	57,85	14,4631	17,57	0,00000000
Erreur	68	55,99	0,8233		
Total	89	205,14			

Informations de groupement avec la méthode de la plus petite différence significative (LSD) de Fisher et un niveau de confiance de 95 %

Modalités	N	Moyenne	Groupement
Borlotti pure sarclé	5	7,72102	A
Borlotti inoculée pure sarclé	5	7,08485	A
Borlotti pure non sarclé	5	6,60296	A B
Borlotti inoculée pure non sarclé	5	5,86736	B C
Vigeronne pure sarclé	5	5,72679	B C D
Mais pure sarclé	5	5,43800	C D E
Borlotti associé sarclé	5	5,37411	C D E
Borlotti inoculée associé sarclé	5	5,06752	C D E F
Vigeronne inoculée pure sarclé	5	4,94768	C D E F
Mais pure non sarclé	5	4,86285	C D E F
Vigeronne pure non sarclé	5	4,74573	C D E F
Borlotti associé non sarclé	5	4,60453	D E F
Vigeronne associé sarclé	5	4,55332	E F
Vigeronne inoculée associé non sarclé	5	4,44656	E F
Borlotti inoculée associé non sarclé	5	4,43800	E F
Vigeronne associé non sarclé	5	4,41924	E F
Vigeronne inoculée pure non sarclé	5	4,15934	F
Vigeronne inoculée associé sarclé	5	3,94819	F

Les moyennes ne partageant aucune lettre sont significativement différentes.

Étude de l'association de cultures maïs–haricot comme moyen de gestion des adventices, et impacts sur les rendements.

## Annexe 8 : Statistiques (ANOVA) pour le % culture

**7/09**

### Analyse de la variance

Source	DL	SomCar ajust	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
Modalités	17	34232,5	2013,68	27,76	0,0000000000
bloc	4	647,2	161,81	2,23	0,0747476429
Erreur	68	4932,8	72,54		
Total	89	39812,5			

Informations de groupement avec la méthode de la plus petite différence significative (LSD) de Fisher et un niveau de confiance de 95 %

Modalités	N	Moyenne	Groupement
Vigeneronne inoculée associé sarclé	5	77	A
Vigeneronne associé sarclé	5	71	A B
Vigeneronne inoculée associé non sarclé	5	71	A B
Vigeneronne associé non sarclé	5	70	A B
Borlotti associé sarclé	5	68	A B C
Borlotti associé non sarclé	5	65	B C D
Borlotti inoculée associé sarclé	5	64	B C D
Borlotti inoculée associé non sarclé	5	59	C D
Mais pure non sarclé	5	57	D
Mais pure sarclé	5	56	D E
Vigeneronne inoculée pure sarclé	5	56	D E
Vigeneronne inoculée pure non sarclé	5	46	E F
Vigeneronne pure sarclé	5	38	F G
Vigeneronne pure non sarclé	5	35	G H
Borlotti pure non sarclé	5	25	H I
Borlotti inoculée pure sarclé	5	21	I
Borlotti inoculée pure non sarclé	5	19	I
Borlotti pure sarclé	5	17	I

Les moyennes ne partageant aucune lettre sont significativement différentes.

**21/09**

### Analyse de la variance

Source	DL	SomCar ajust	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
Modalités	17	327,835	19,2844	30,81	0,0000000000
bloc	4	5,518	1,3796	2,20	0,0778690566
Erreur	67	41,940	0,6260		
Total	88	376,381			

Informations de groupement avec la méthode de la plus petite différence significative (LSD) de Fisher et un niveau de confiance de 95 %

Modalités	N	Moyenne	Groupement
Vigeneronne inoculée associé sarclé	5	8,83066	A
Vigeneronne associé sarclé	5	8,54279	A B
Vigeneronne inoculée associé non sarclé	5	8,41674	A B C
Borlotti inoculée associé sarclé	5	8,18399	A B C
Vigeneronne associé non sarclé	5	8,17947	A B C
Borlotti associé sarclé	5	8,06226	A B C
Borlotti associé non sarclé	5	8,05987	A B C
Mais pure sarclé	5	7,86979	A B C
Mais pure non sarclé	5	7,80653	B C
Borlotti inoculée associé non sarclé	5	7,80144	B C D
Vigeneronne inoculée pure sarclé	5	7,52841	C D E
Vigeneronne pure sarclé	5	6,80700	D E F
Vigeneronne inoculée pure non sarclé	5	6,67623	E F
Vigeneronne pure non sarclé	5	5,84117	F
Borlotti inoculée pure sarclé	5	4,03951	G
Borlotti pure sarclé	4	3,37333	G
Borlotti inoculée pure non sarclé	5	3,11918	G
Borlotti pure non sarclé	5	3,09443	G

Les moyennes ne partageant aucune lettre sont significativement différentes.

Étude de l'association de cultures maïs–haricot comme moyen de gestion des adventices, et impacts sur les rendements.

## Annexe 9 : Statistiques (ANOVA) pour le % adventices

7/09

### Analyse de la variance

Source	DL	SomCar ajust	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
Modalités	17	13,943	0,82016	10,83	0,0000000
bloc	4	3,410	0,85256	11,25	0,0000005
Erreur	68	5,152	0,07576		
Total	89	22,505			

Informations de groupement avec la méthode de la plus petite différence significative (LSD) de Fisher et un niveau de confiance de 95 %

Modalités	N	Moyenne	Groupement
Borlotti inoculée pure non sarclé	5	1,64299	A
Vigeronne pure non sarclé	5	1,58443	A B
Borlotti pure non sarclé	5	1,57613	A B
Borlotti inoculée pure sarclé	5	1,40137	A B C
Vigeronne inoculée pure non sarclé	5	1,36808	A B C
Vigeronne pure sarclé	5	1,35098	A B C
Borlotti pure sarclé	5	1,26880	B C
Borlotti inoculée associé non sarclé	5	1,18472	C D
Vigeronne inoculée pure sarclé	5	1,16918	C D
Mais pure non sarclé	5	1,13490	C D
Vigeronne associé non sarclé	5	1,10108	C D
Borlotti associé non sarclé	5	0,88696	D E
Vigeronne inoculée associé non sarclé	5	0,85870	D E F
Mais pure sarclé	5	0,63239	E F G
Borlotti inoculée associé sarclé	5	0,52710	F G
Vigeronne inoculée associé sarclé	5	0,51954	F G
Borlotti associé sarclé	5	0,46689	G
Vigeronne associé sarclé	5	0,46689	G

Les moyennes ne partageant aucune lettre sont significativement différentes.

21/09

### Analyse de la variance

Source	DL	SomCar ajust	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
Modalités	17	14,766	0,86859	14,57	0,0000000000
bloc	4	3,298	0,82449	13,83	0,0000000264
Erreur	68	4,055	0,05963		
Total	89	22,119			

Informations de groupement avec la méthode de la plus petite différence significative (LSD) de Fisher et un niveau de confiance de 95 %

Modalités	N	Moyenne	Groupement
Borlotti inoculée pure non sarclé	5	1,73325	A
Borlotti pure non sarclé	5	1,58792	A B
Vigeronne pure non sarclé	5	1,55380	A B
Borlotti inoculée pure sarclé	5	1,45274	A B C
Borlotti pure sarclé	5	1,34041	B C D
Vigeronne inoculée pure non sarclé	5	1,28164	B C D
Borlotti inoculée associé non sarclé	5	1,20054	C D E
Vigeronne pure sarclé	5	1,19471	C D E
Mais pure non sarclé	5	1,18044	C D E
Vigeronne inoculée pure sarclé	5	1,12907	D E F
Vigeronne associé non sarclé	5	1,11000	D E F
Borlotti associé non sarclé	5	1,06346	D E F
Vigeronne inoculée associé non sarclé	5	0,93961	E F
Mais pure sarclé	5	0,84067	F
Borlotti associé sarclé	5	0,44910	G
Vigeronne associé sarclé	5	0,43167	G
Vigeronne inoculée associé sarclé	5	0,43167	G
Borlotti inoculée associé sarclé	5	0,41656	G

Les moyennes ne partageant aucune lettre sont significativement différentes.

Étude de l'association de cultures maïs–haricot comme moyen de gestion des adventices, et impacts sur les rendements.

## Annexe 10 : Statistiques (ANOVA) pour le nbr d'adventices

7/09

### Analyse de la variance

Source	DL	SomCar ajust	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
Modalités	17	1,9880	0,11694	10,42	0,0000000
bloc	4	0,3020	0,07551	6,73	0,0001266
Erreur	68	0,7630	0,01122		
Total	89	3,0530			

### Informations de groupement avec la méthode de la plus petite différence significative (LSD) de Fisher et un niveau de confiance de 95 %

Modalités	N	Moyenne	Groupement
Borlotti inoculée pure non sarclé	5	0,574759	A
Borlotti inoculée associé non sarclé	5	0,488340	A B
Vigeronne pure non sarclé	5	0,477389	A B
Borlotti pure non sarclé	5	0,476655	A B
Mais pure non sarclé	5	0,475702	A B
Vigeronne inoculée pure non sarclé	5	0,430305	B C
Vigeronne associé non sarclé	5	0,412030	B C D
Borlotti inoculée pure sarclé	5	0,401946	B C D
Borlotti pure sarclé	5	0,338426	C D E
Borlotti associé non sarclé	5	0,327076	C D E
Vigeronne pure sarclé	5	0,289819	D E
Vigeronne inoculée associé non sarclé	5	0,280667	D E
Mais pure sarclé	5	0,258233	E F
Vigeronne inoculée pure sarclé	5	0,224699	E F G
Borlotti inoculée associé sarclé	5	0,134188	F G H
Vigeronne associé sarclé	5	0,119044	G H
Vigeronne inoculée associé sarclé	5	0,089819	H
Borlotti associé sarclé	5	0,073982	H

Les moyennes ne partageant aucune lettre sont significativement différentes.

21/09

### Analyse de la variance

Source	DL	SomCar ajust	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
Modalités	17	54,156	3,1857	6,99	0,0000000
bloc	4	8,357	2,0892	4,58	0,0024535
Erreur	68	30,993	0,4558		
Total	89	93,506			

### Informations de groupement avec la méthode de la plus petite différence significative (LSD) de Fisher et un niveau de confiance de 95 %

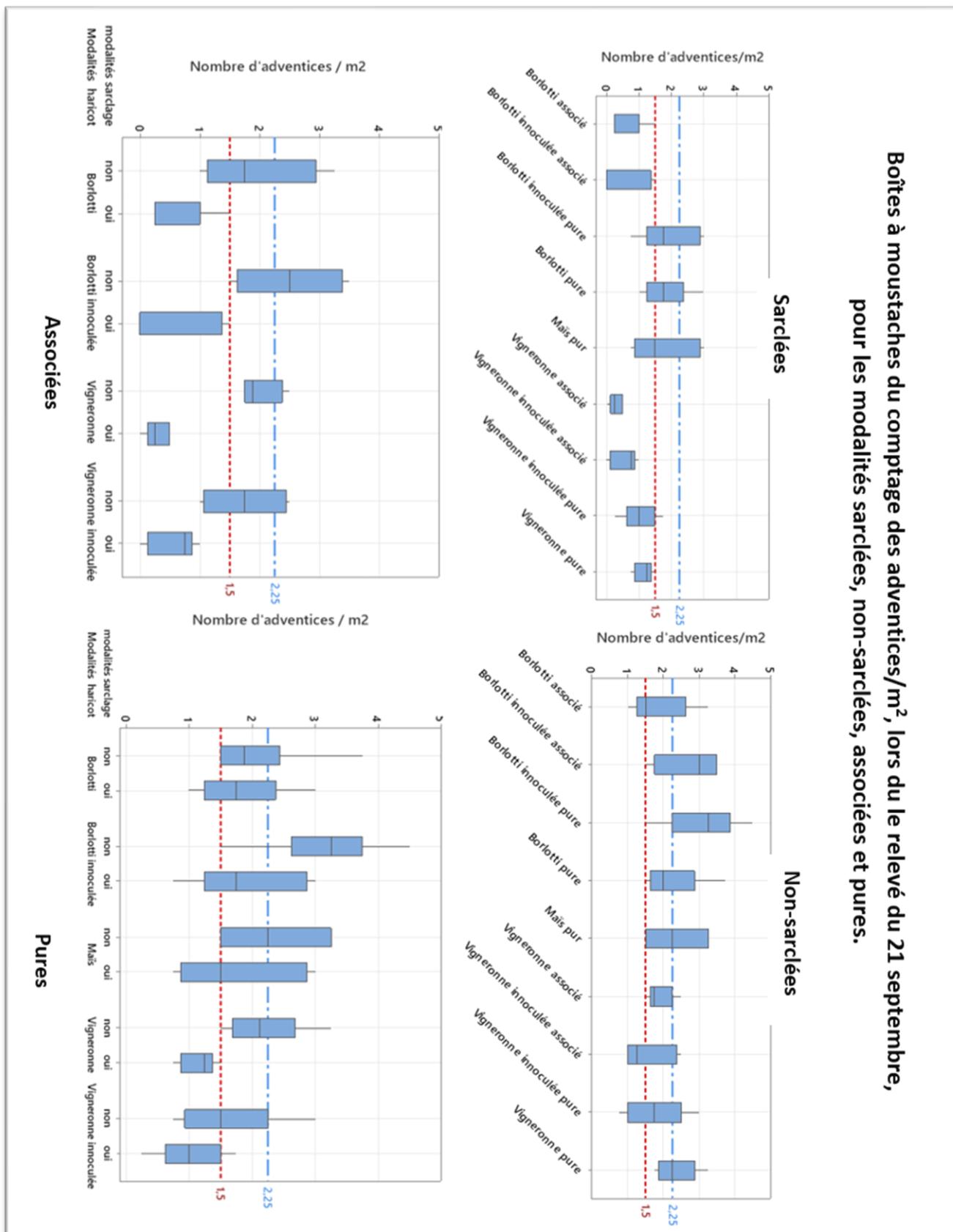
Modalités	N	Moyenne	Groupement
Borlotti inoculée pure non sarclé	5	3,10	A
Borlotti inoculée associé non sarclé	5	2,70	A B
Vigeronne pure non sarclé	5	2,35	A B C
Mais pure non sarclé	5	2,35	A B C
Borlotti pure non sarclé	5	2,20	B C
Borlotti inoculée pure sarclé	5	2,00	B C D
Vigeronne associé non sarclé	5	1,90	B C D E
Borlotti associé non sarclé	5	1,85	B C D E
Mais pure sarclé	5	1,80	C D E
Borlotti pure sarclé	5	1,80	C D E
Vigeronne inoculée pure non sarclé	5	1,75	C D E
Vigeronne inoculée associé non sarclé	5	1,60	C D E
Vigeronne pure sarclé	5	1,15	D E F
Vigeronne inoculée pure sarclé	5	1,05	E F
Vigeronne inoculée associé sarclé	5	0,55	F
Borlotti inoculée associé sarclé	5	0,55	F
Borlotti associé sarclé	5	0,55	F
Vigeronne associé sarclé	5	0,30	F

Les moyennes ne partageant aucune lettre sont significativement différentes.

Étude de l'association de cultures maïs–haricot comme moyen de gestion des adventices, et impacts sur les rendements.

Annexe 11 : Boîtes à moustaches du comptage des adventices, le 21/09

Boîtes à moustaches du comptage des adventices/m<sup>2</sup>, lors du le relevé du 21 septembre, pour les modalités sarclées, non-sarclées, associées et pures.



Étude de l'association de cultures maïs-haricot comme moyen de gestion des adventices, et impacts sur les rendements.

## Annexe 12 : Statistiques (ANOVA) pour les biomasses

### Cultures

#### Analyse de la variance

Source	DL	SomCar ajust	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
Modalités	17	228868	13462,8	207,19	0,0000000
bloc	4	1160	289,9	4,46	0,0029207
Erreur	68	4419	65,0		
Total	89	234446			

#### Informations de groupement avec la méthode de la plus petite différence significative (LSD) de Fisher et un niveau de confiance de 95 %

Modalités	N	Moyenne	Groupement
Borlotti associé non sarclé	5	153,198	A
Borlotti associé sarclé	5	150,737	A
Borlotti inoculée associé sarclé	5	150,694	A
Vigeronne inoculée associé sarclé	5	146,596	A B
Borlotti inoculée associé non sarclé	5	143,921	A B
Vigeronne inoculée associé non sarclé	5	139,869	B
Mais pure sarclé	5	128,367	C
Vigeronne associé non sarclé	5	124,963	C
Mais pure non sarclé	5	124,247	C
Vigeronne associé sarclé	5	121,056	C
Vigeronne inoculée pure non sarclé	5	46,858	D
Vigeronne inoculée pure sarclé	5	44,385	D E
Vigeronne pure non sarclé	5	42,375	D E F
Borlotti pure non sarclé	5	38,905	D E F G
Borlotti inoculée pure sarclé	5	36,166	E F G
Vigeronne pure sarclé	5	35,200	E F G
Borlotti inoculée pure non sarclé	5	33,549	F G
Borlotti pure sarclé	5	31,988	G

*Les moyennes ne partageant aucune lettre sont significativement différentes.*

### Adventices

#### Analyse de la variance

Source	DL	SomCar ajust	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
Modalités	17	49,96	2,9390	4,55	0,0000034
bloc	4	15,29	3,8227	5,92	0,0003775
Erreur	68	43,89	0,6454		
Total	89	109,14			

#### Informations de groupement avec la méthode de la plus petite différence significative (LSD) de Fisher et un niveau de confiance de 95 %

Modalités	N	Moyenne	Groupement
Borlotti inoculée pure non sarclé	5	2,95822	A
Vigeronne pure non sarclé	5	2,64696	A B
Borlotti pure sarclé	5	2,63856	A B
Borlotti pure non sarclé	5	2,61532	A B
Borlotti inoculée pure sarclé	5	2,45179	A B
Vigeronne pure sarclé	5	2,44413	A B
Vigeronne inoculée pure sarclé	5	2,27016	A B
Vigeronne inoculée pure non sarclé	5	2,22035	A B
Mais pure sarclé	5	2,09790	A B C
Mais pure non sarclé	5	2,07883	A B C
Borlotti inoculée associé non sarclé	5	1,95035	A B C
Borlotti associé non sarclé	5	1,78549	B C
Vigeronne associé non sarclé	5	1,78506	B C
Vigeronne inoculée associé non sarclé	5	1,74083	B C D
Borlotti inoculée associé sarclé	5	1,14509	C D E
Vigeronne associé sarclé	5	0,76339	D E
Borlotti associé sarclé	5	0,44137	E
Vigeronne inoculée associé sarclé	5	0,38170	E

*Les moyennes ne partageant aucune lettre sont significativement différentes.*

Étude de l'association de cultures maïs–haricot comme moyen de gestion des adventices, et impacts sur les rendements.

## Annexe 13 : Statistiques (ANOVA) pour les rendements

### Maïs (sans transfo)

#### Analyse de la variance

Source	DL	SomCar ajust	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
Modalités	9	80169063	8907674	8,46	0,0000012
bloc	4	10695609	2673902	2,54	0,0566529
Erreur	36	37921782	1053383		
Total	49	128786454			

#### Informations de groupement avec la méthode de la plus petite différence significative (LSD) de Fisher et un niveau de confiance de 95 %

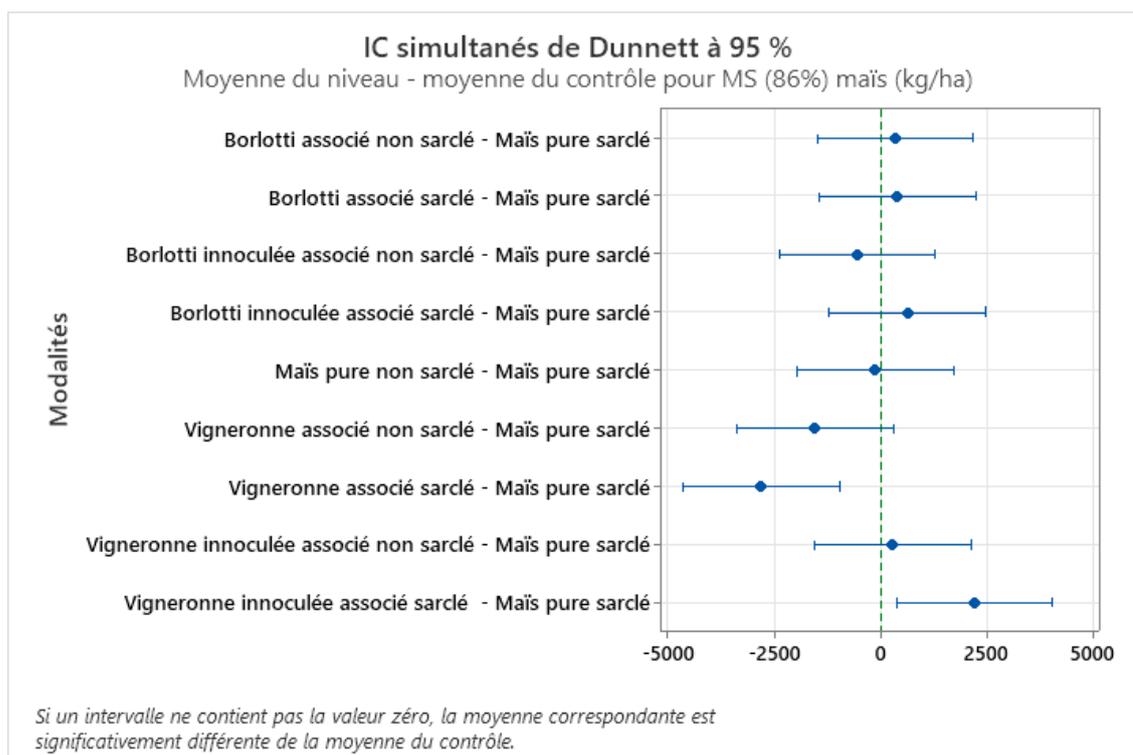
Modalités	N	Moyenne	Groupement
Vigeneronne inoculée associé sarclé	5	9986,04	A
Borlotti inoculée associé sarclé	5	8417,06	B
Borlotti associé sarclé	5	8182,94	B
Borlotti associé non sarclé	5	8131,78	B
Vigeneronne inoculée associé non sarclé	5	8068,20	B
Maïs pure sarclé	5	7776,76	B
Maïs pure non sarclé	5	7662,02	B
Borlotti inoculée associé non sarclé	5	7230,98	B C
Vigeneronne associé non sarclé	5	6240,30	C D
Vigeneronne associé sarclé	5	4981,40	D

Les moyennes ne partageant aucune lettre sont significativement différentes.

#### Informations de groupement avec la méthode de Dunnett et un niveau de confiance de 95 %

Modalités	N	Moyenne	Groupement
Maïs pure sarclé (Contrôle)	5	7776,76	A
Vigeneronne inoculée associé sarclé	5	9986,04	
Borlotti inoculée associé sarclé	5	8417,06	A
Borlotti associé sarclé	5	8182,94	A
Borlotti associé non sarclé	5	8131,78	A
Vigeneronne inoculée associé non sarclé	5	8068,20	A
Maïs pure non sarclé	5	7662,02	A
Borlotti inoculée associé non sarclé	5	7230,98	A
Vigeneronne associé non sarclé	5	6240,30	A
Vigeneronne associé sarclé	5	4981,40	

Les moyennes non étiquetées avec la lettre A sont significativement différentes de la moyenne du niveau de contrôle.



Étude de l'association de cultures maïs-haricot comme moyen de gestion des adventices, et impacts sur les rendements.

## Haricot (sans transfo)

### Analyse de la variance

Source	DL	SomCar ajust	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
Modalités	15	10624879	708325	9,88	0,0000000
bloc	4	777017	194254	2,71	0,0384005
Erreur	60	4302603	71710		
Total	79	15704499			

Informations de groupement avec la méthode de la plus petite différence significative (LSD) de Fisher et un niveau de confiance de 95 %

Modalités	N	Moyenne	Groupement
Vigeronne inoculée pure non sarclé	5	1293,49	A
Vigeronne inoculée pure sarclé	5	1238,31	A B
Vigeronne pure non sarclé	5	1175,48	A B C
Vigeronne pure sarclé	5	914,94	B C D
Borlotti pure non sarclé	5	856,70	C D
Vigeronne inoculée associé non sarclé	5	691,19	D E
Borlotti pure sarclé	5	652,87	D E F
Borlotti inoculée pure sarclé	5	637,55	D E F
Borlotti inoculée pure non sarclé	5	582,38	D E F
Vigeronne inoculée associé sarclé	5	501,15	E F G
Vigeronne associé non sarclé	5	352,49	E F G H
Vigeronne associé sarclé	5	349,43	F G H
Borlotti associé non sarclé	5	323,37	F G H
Borlotti associé sarclé	5	199,23	G H
Borlotti inoculée associé non sarclé	5	180,84	G H
Borlotti inoculée associé sarclé	5	156,32	H

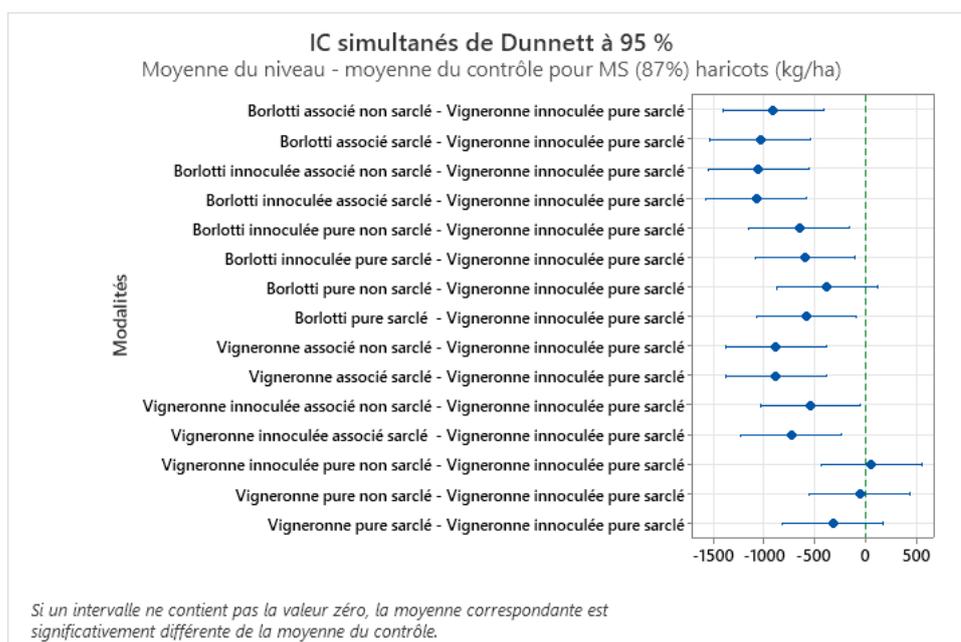
Les moyennes ne partageant aucune lettre sont significativement différentes.

### Avec témoin : Vigeronne pure sarclée

Informations de groupement avec la méthode de Dunnett et un niveau de confiance de 95 %

Modalités	N	Moyenne	Groupement
Vigeronne inoculée pure sarclé (Contrôle)	5	1238,31	A
Vigeronne inoculée pure non sarclé	5	1293,49	A
Vigeronne pure non sarclé	5	1175,48	A
Vigeronne pure sarclé	5	914,94	A
Borlotti pure non sarclé	5	856,70	A
Vigeronne inoculée associé non sarclé	5	691,19	
Borlotti pure sarclé	5	652,87	
Borlotti inoculée pure sarclé	5	637,55	
Borlotti inoculée pure non sarclé	5	582,38	
Vigeronne inoculée associé sarclé	5	501,15	
Vigeronne associé non sarclé	5	352,49	
Vigeronne associé sarclé	5	349,43	
Borlotti associé non sarclé	5	323,37	
Borlotti associé sarclé	5	199,23	
Borlotti inoculée associé non sarclé	5	180,84	
Borlotti inoculée associé sarclé	5	156,32	

Les moyennes non étiquetées avec la lettre A sont significativement différentes de la moyenne du niveau de contrôle.



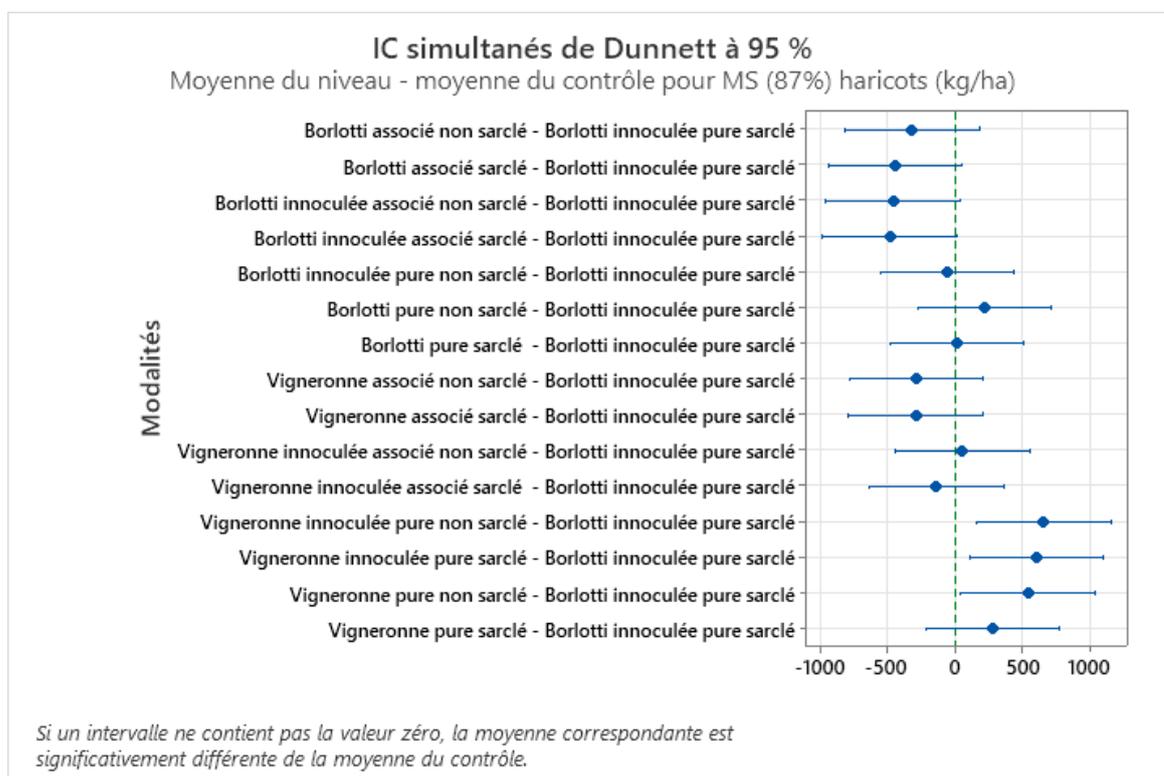
Étude de l'association de cultures maïs-haricot comme moyen de gestion des adventices, et impacts sur les rendements.

## Avec témoin : Borlotto pur sarclé

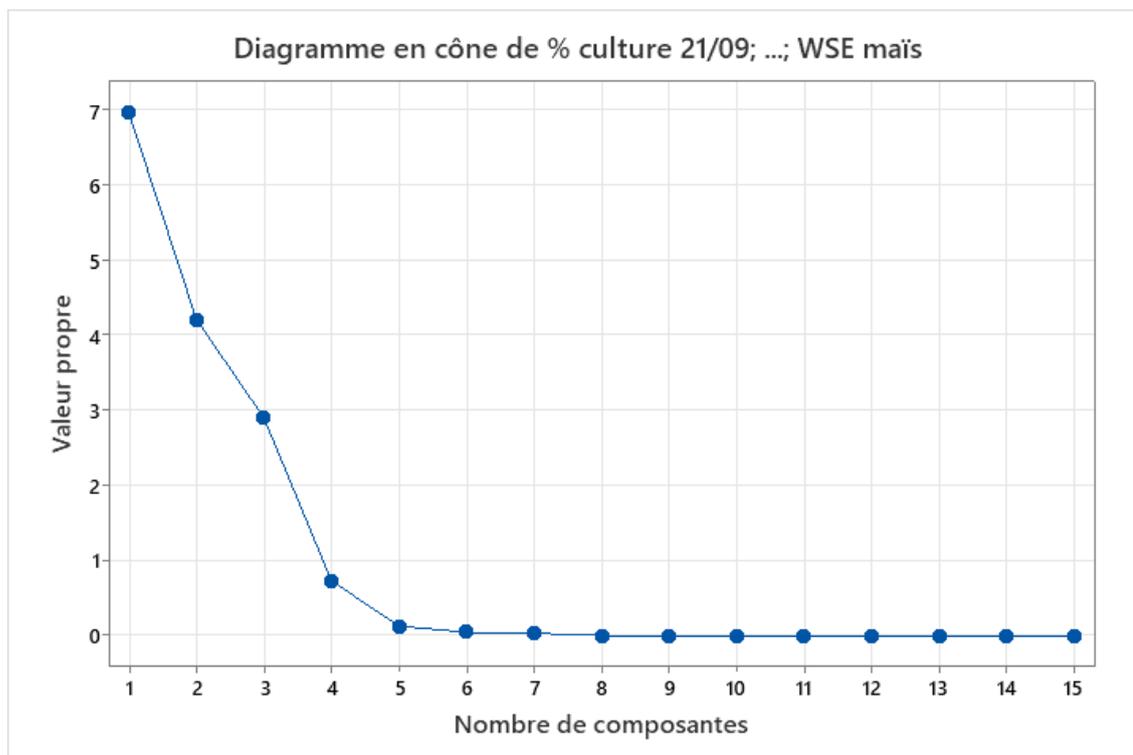
### Informations de groupement avec la méthode de Dunnett et un niveau de confiance de 95 %

Modalités	N	Moyenne	Groupement
Borlotti inoculée pure sarclé (Contrôle)	5	637,55	A
Vigeronne inoculée pure non sarclé	5	1293,49	
Vigeronne inoculée pure sarclé	5	1238,31	
Vigeronne pure non sarclé	5	1175,48	
Vigeronne pure sarclé	5	914,94	A
Borlotti pure non sarclé	5	856,70	A
Vigeronne inoculée associé non sarclé	5	691,19	A
Borlotti pure sarclé	5	652,87	A
Borlotti inoculée pure non sarclé	5	582,38	A
Vigeronne inoculée associé sarclé	5	501,15	A
Vigeronne associé non sarclé	5	352,49	A
Vigeronne associé sarclé	5	349,43	A
Borlotti associé non sarclé	5	323,37	A
Borlotti associé sarclé	5	199,23	A
Borlotti inoculée associé non sarclé	5	180,84	A
Borlotti inoculée associé sarclé	5	156,32	A

Les moyennes non étiquetées avec la lettre A sont significativement différentes de la moyenne du niveau de contrôle.



## Annexe 14 : ACP



### Analyse des valeurs et vecteurs propres de la matrice de corrélation

Valeur propre 6,9610 4,2124 2,8985 0,7299 0,1249 0,0435 0,0298 0,0000 0,0000 0,0000  
 Proportion 0,464 0,281 0,193 0,049 0,008 0,003 0,002 0,000 0,000 0,000  
 Cumulée 0,464 0,745 0,938 0,987 0,995 0,998 1,000 1,000 1,000 1,000

Valeur propre 0,0000 -0,0000 -0,0000 -0,0000 -0,0000  
 Proportion 0,000 -0,000 -0,000 -0,000 -0,000  
 Cumulée 1,000 1,000 1,000 1,000 1,000

Modalités		cos2 dim1	cos2 dim2	cos2
Association sarclée	Vigneronne inoculée	0,91099466	0,02820953	0,9392042
	Borlotto inoculé	0,08015402	0,80501126	0,88516528
	Vigneronne	0,02218587	0,31276357	0,33494945
	Borlotto	0,0229613	0,63118674	0,65414804
Association non-sarclée	Vigneronne inoculée	0,53353795	0,21622842	0,74976637
	Borlotto inoculé	0,76520974	0,0084318	0,77364154
	Vigneronne	0,17969744	0,76442861	0,94412605
	Borlotto	0,15628631	0,19968253	0,35596884