

# Évaluation multicritère du système de culture **ALIAGE** sur sa première année de mise en place sur la plateforme agronomique de l'école d'ingénieurs de **PURPAN**

Stage Césure Septembre 2024 – Février 2025

**Nino Charrier**



Campus de Lamothe – Ecole d'Ingénieurs de PURPAN  
2575 Chemin de Vallesvilles,  
31600 Seysses

Maitre de stage  
**Simon Giuliano**

## Remerciements :

Je tiens tout d'abord à remercier Simon Giuliano, mon maître de stage, pour m'avoir permis de faire ce stage de césure en expérimentation. Merci pour ta bienveillance, ta pédagogie et tous tes conseils. J'ai vraiment apprécié la diversité des tâches et l'autonomie qui m'ont été confiées pendant ces 6 mois, de l'organisation d'ateliers de co-conception à la présentation des résultats de mon analyse du projet ALIAGE dans le Grand Est.

Merci Valentin Deremetz pour ta gentillesse et ta sympathie. Je te remercie d'avoir pris le temps de répondre à mes nombreuses questions et de m'avoir partagé tes connaissances tout au long de mon stage. Ce stage a été enrichissant et passionnant grâce à toi, à tout ce que tu m'as montré et appris.

Je tiens à remercier Hélène Martin. Merci pour ta bonne humeur et ta gentillesse d'avoir toujours essayé de m'inclure dans les discussions et de m'expliquer les choses qui se passent dans l'exploitation. J'ai vraiment apprécié travailler avec toi lors des sessions de prélèvements et de tris au laboratoire.

Merci à toute l'équipe de Lamothe, Micka, Claire, Jean-Jacques, Mylène, Jean-Phi, Clements, Eloïse et Gervais, pour leur accueil, leur bonne humeur lors des pauses et de m'avoir accueilli 2 jours sur la partie production laitière.

Et je remercie enfin les stagiaires, Alix, Perrine, Fiona et Chloé, grâce à qui la fin de mon stage a été très agréable.

## Liste des figures et tableaux :

Figure 1 : Dispositif expérimental en deux blocs randomisés complets de l'essai système (Campus de Lamothe 2024) .....	6
Figure 2 : les systèmes de culture testés à Lamothe en 2024 (Simon Giuliano) .....	8
Figure 3 : Itinéraire technique proposé pour le système ALIAGE (Hermouet Edwige).....	9
Figure 4 : Radar comparatif des performances du système ALIAGE et du prototype. Les données sont exprimées en pourcentage par rapport au système de référence. ....	10
Figure 5 : Ecart aux normales des températures et précipitations dans le bassin Sud-Ouest : Agreste-Météo France, normales 1991-2020 .....	12
Figure 6 : Données météorologiques de la plateforme météo de la station d'expérimentation .....	12
Figure 9 : Graphique des variables de l'ACP .....	14
Figure 8 : Classification ascendante hiérarchique des SDC .....	14
Figure 7 Graphique des individus de l'ACP .....	14
Figure 10 : Dose d'azote minéral selon les SDC (A) et les cultures d'ALIAGE et RC (B).....	15
Figure 11 : Dose de P pour les SDC (A) et les cultures d'ALIAGE et RC (B).....	16
Figure 12 : Dose d'irrigation par SDC.....	16
Figure 13 : Dose d'irrigation pour les cultures d'ALIAGE (A) et comparaison entre les cultures des rotations (B).....	17
Figure 14 : IFT total des SDC (A) et des cultures d'ALIAGE et RC (B).....	18
Figure 15 : : Emissions de GES des SDC (A) et des cultures d'ALIAGE (B) .....	19
Figure 16 : Comparaison de l'Emissions de GES des cultures des rotations .....	20
Figure 18 : Temps de travail sur la parcelle pour les SDC (A) et les cultures d'ALIAGE (B).....	21
Figure 17 : Temps de travail sur la parcelle des cultures des rotations .....	21
Figure 19 : Drainage cumulé des cultures de maïs entre avril et octobre 2024.....	22
Figure 21 : Composition de la biomasse adventice des cultures des rotations.....	23
Figure 20 : Composition de la biomasse adventice des cultures de maïs.....	23
Figure 22 : Ratio rendement des SDC (A) et des cultures d'ALIAGE (B).....	25
Figure 23 : Rendements des différentes cultures.....	25
Figure 24 : Comparaison ratio rendement des cultures des rotations .....	25
Figure 26 : Composition des charges mécaniques des rotations.....	27
Figure 25 : Composition des charges mécaniques des SDC (A) et des cultures d'ALIAGE (B) .....	27
Figure 27 : Composition des charges opérationnelles des SDC (A) et des cultures d'ALIAGE (B).....	28
Figure 28 : Comparaison des charges opérationnelles des cultures des rotations.....	29
Figure 29 : Marge semi-nette des SDC (A) et des cultures d'ALIAGE (B).....	30
Figure 30 : : Comparaison marge semi-nette des cultures des rotations .....	30
Tableau 1 : Tableau récapitulatif des taux d'évolution des SDC pour chaque indicateur. ....	32
Tableau 2 : Tableau récapitulatif des cultures d'ALIAGE pour chaque indicateur .....	32

# SOMMAIRE :

---

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>MATERIEL ET METHODE.....</b>	<b>6</b>
2.1	La station d'expérimentation.....	6
2.2	Présentation des systèmes de cultures présents .....	7
2.3	Le système de culture ALIAGE .....	8
2.4	Collecte des données et suivi.....	10
2.5	Analyse de données.....	11
2.6	Bilan climatique de la campagne 2023-2024.....	11
<b>3</b>	<b>RESULTATS ET DISCUSSION.....</b>	<b>13</b>
3.1	Analyse en Composante Principale .....	13
3.2	Environnemental .....	15
3.2.1	Dose d'azote et phosphore minéral .....	15
3.2.2	Irrigation.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3.2.3	Indicateur de fréquence de traitement phytosanitaire (IFT) .....	18
3.2.4	Emission de gaz à effet de serre (GES) .....	19
3.3	Socio-Economique .....	21
3.3.1	Temps de travail.....	21
3.4	Agronomique.....	22
3.4.1	Drainage .....	22
3.4.2	Biomasse Adventice .....	23
3.4.3	Ratio rendement.....	25
3.5	Economique.....	27
3.5.1	Charges de mécanisation.....	27
3.5.2	Charges opérationnelles .....	28
3.5.3	Marge semi-nette.....	30
<b>4</b>	<b>CONCLUSION .....</b>	<b>32</b>

# 1 INTRODUCTION

---

L'agriculture dite intensive est responsable de nombreux effets néfastes pour l'environnement. Sont citées les émissions de gaz à effet de serre (GES), les pertes de biodiversité, les pollutions de l'eau, de l'air et des terres agricoles dues aux engrais minéraux et aux produits phytosanitaires (Jean-Marc et al., 2013). Les systèmes de cultures (SDC) maïsicoles sont caractérisés par un retour fréquent du maïs dans la succession ( $\leq 3$  ans) et un haut niveau d'intrants (irrigation, azote minéral et herbicides en particulier). Les monocultures de maïs (MM) représentent près de 20 % des surfaces françaises de maïs (environ 600 000 hectares) (Espagnol, 2015). La culture est très présente dans les régions Nouvelle-Aquitaine et Occitanie, représentant à elles seules près de 40 % de la production de maïs grain et semences (CHEGUT et al., 2018).

Le département de la Haute-Garonne fait face à des problèmes de pollution des eaux par des matières actives comme le S-métolachlore et l'acide aminométhylphosphonique (AMPA, métabolite issu de la dégradation du glyphosate). Ce sont des herbicides utilisés dans les SDC maïsicoles qui se retrouvent dans les nappes phréatiques et les rivières, favorisées par l'irrigation, fréquente dans la région (Agence de l'eau Adour-Garonne, 2013). Aujourd'hui, les innovations tendent vers des SDC plus durables (économie d'eau, réduction des intrants chimiques...), afin de s'adapter au changement climatique.

C'est dans ce contexte que le domaine du campus de Lamothe met en place divers essais systèmes avec comme objectif principal d'évaluer la reconception des SDC alternatifs (intégrant des pratiques agroécologiques) à la monoculture de maïs. L'analyse de ces SDC se fait par une évaluation multicritères qui prendra en compte les dimensions de la durabilité. C'est au sein de ces essais que le système ALIAGE s'insère.

## Présentation du projet ALIAGE :

Le projet ALIAGE (s'Appuyer sur Les Innovations couplées d'AGriculteurs pour soutenir l'émergence de systèmes agricoles sans glyphosate) est porté par la Fédération nationale des coopératives d'utilisation de matériel agricole (FNCUMA). Il a pour ambition de produire des connaissances et des ressources pour l'action à partir de l'étude d'innovations d'agriculteurs pour se passer de glyphosate. Une des actions de ce projet est la mise en œuvre d'un système de culture en station d'expérimentation.

L'expérimentation de système de culture s'insère dans la tâche 3.5 : « Expérimentation, suivi et évaluation de prototypes d'innovations couplées ». L'objectif de cette tâche est de mettre en œuvre et d'évaluer sur le terrain les innovations couplées conçues en atelier de co-conception.

Ce système de culture ALIAGE est le fruit d'un atelier de co-conception mis en place sur la plateforme expérimentale de l'école d'ingénieurs de Purpan. Ce dispositif en station d'expérimentation permet la comparaison du système ALIAGE aux différents systèmes de culture déjà présents depuis 2010. Ces systèmes varient selon des gradients de travail du sol, de réduction d'usage des herbicides et de diversification des cultures.

L'objectif de ce travail est de faire une évaluation multicritère de la campagne 2023-2024 du système ALIAGE, en comparaison avec les SDC déjà présents sur la plateforme.

## 2 MATERIEL ET METHODE

### 2.1 La station d'expérimentation

Les essais systèmes sont mis en place au campus de Lamothe à Seysses (31), l'exploitation agricole de l'école d'ingénieurs de PUPRAN située à Toulouse. Cette exploitation agricole comprend 120 vaches laitières et 250 ha de cultures, elle accueille la station d'expérimentation agronomique. Au sein de cette station, on retrouve la plateforme agronomique où sont expérimentés différents systèmes de culture irrigués incluant du maïs grain.

Le sol de cette plateforme est un luvisol caractérisé par une hydromorphie importante et un gradient d'argile. La texture moyenne de la couche arable est de 33.4 % d'argiles, 40.9 % de limons et 19.5 % de sables. Le taux de matière organique est d'environ 1,9 % et le pH est à 7 en moyenne (Giuliano, 2023). L'essai est divisé en 2 blocs expérimentaux aléatoires complets (figure 1). Chaque bloc est constitué de 16 parcelles mesurant 720 m<sup>2</sup> (12 x 60 m). Une parcelle correspond à une unité statistique. Pour les rotations, tous les termes des successions culturales sont présents dans chaque bloc chaque année. Une rampe d'irrigation permet d'irriguer et de moduler la dose appliquée pour chaque parcelle. Toutes les monocultures de maïs sont irriguées, ainsi que le soja et parfois le colza.

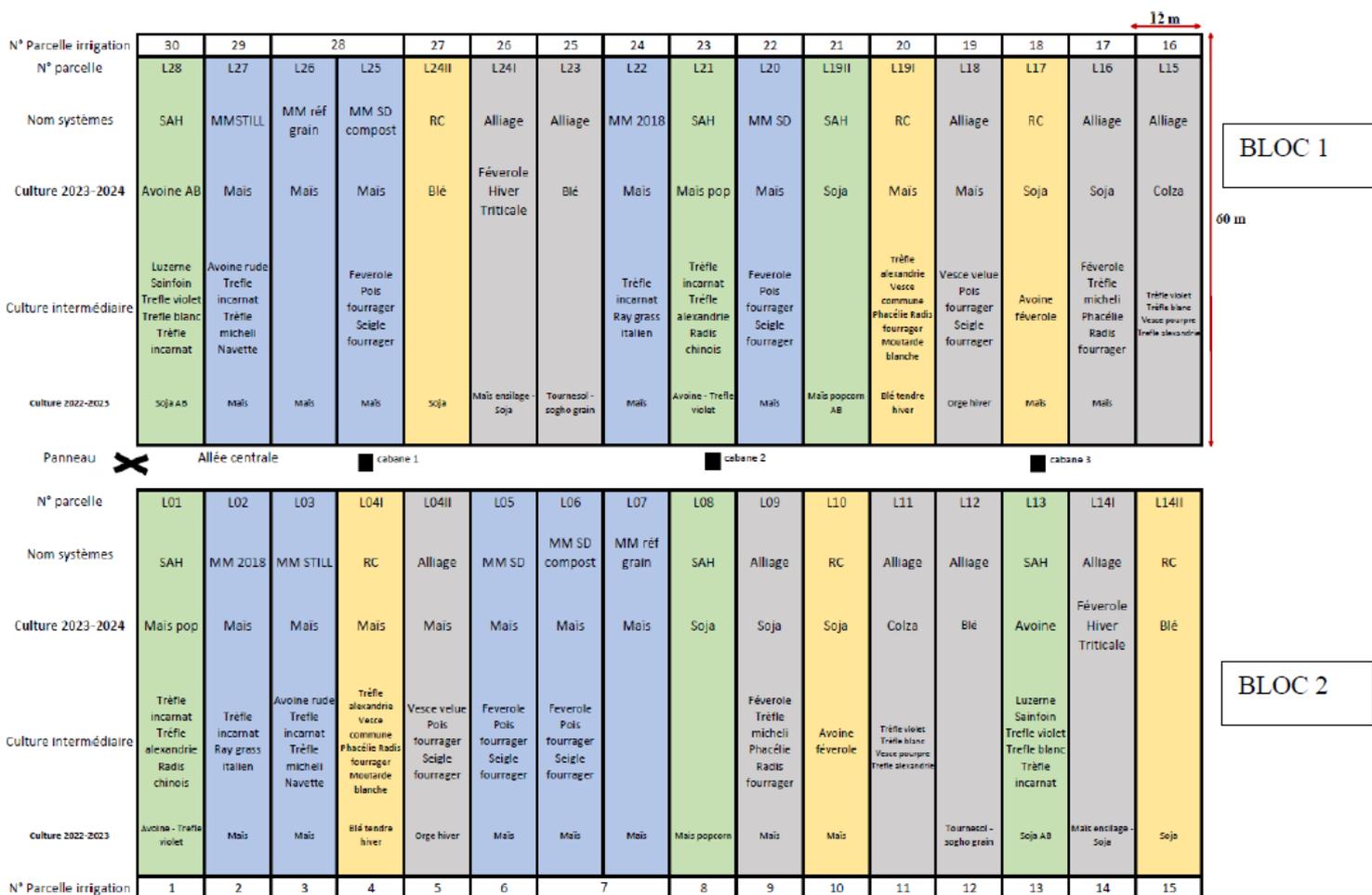


Figure 1 : Dispositif expérimental en deux blocs randomisés complets de l'essai système (Campus de Lamothe 2024)

## 2.2 Présentation des systèmes de cultures présents

MM-réf-grain : SDC témoin, une monoculture de maïs conduite selon les pratiques régionales conventionnelles. Il est caractérisé par un labour chaque année avant l'hiver, une variété tardive et un désherbage chimique systématique. C'est un SDC consommateur en intrants, ayant pour objectif l'optimum économique (environ 200 kg d'azote/ha, IFT avec traitement de semences à 4, 200 à 250 mm d'eau) et un sol nu l'hiver. Un couvert intermédiaire de fèverole est pour la première fois implanté pour la campagne 2024-2025 afin de suivre les nouvelles réglementations PAC de 2023.

MM-Ecophyto : la Monoculture de maïs Ecophyto a pour objectif d'atteindre les objectifs du plan Ecophyto, à savoir une diminution de **50 % de l'IFT**. À cela, s'ajoute un objectif de réduire de **25 % l'apport d'azote minéral, d'eau d'irrigation et d'émissions de gaz à effet de serre (GES)**. Une culture intermédiaire de ray-grass et de trèfle est semée au stade 4 feuilles, puis détruite au labour de la campagne suivante. Ce système est caractérisé par un désherbage chimique localisé et mécanique, une variété demi-précoce ainsi que la pratique d'un faux semis.

MM-Strip-till : monoculture de maïs caractérisée par un ou deux passages de strip-till à 20 cm de profondeur. Le travail du sol est localisé sur le futur rang. Un couvert de légumineuses-avoine-crucifères est implanté après la récolte, puis détruit chimiquement avec du glyphosate. Ce système vise une réduction de **10 % de l'IFT et 25 % de l'apport d'azote minéral, d'eau d'irrigation et d'émissions de GES**.

MM-SD : une monoculture de maïs en semi-direct, avec un couvert d'interculture est semé après la récolte et détruit (roulage) le jour du semis. Le couvert est variable selon les années, majoritairement un mélange de légumineuses/graminées et de fèverole (fèverole, pois et seigle fourrager pour la campagne 2023-2024). Le semis est effectué sans travail du sol, directement dans le couvert détruit. L'objectif est de réduire de **10 % l'IFT, 25 % l'apport d'azote minéral, d'eau d'irrigation et 30 % les émissions de GES**.

MM-SD-MO : le système SD-MO (semis Direct Matière Organique) possède le même itinéraire technique que le système SD vu précédemment, à la seule différence d'un apport de compost. Un apport massif a été effectué en 3 fois (2013, 2014, 2015), ce qui représente au total plus de 300 t/ha de compost de déchets verts, faisant passer le taux de matière organique du sol de 2 % à 5 % sur l'horizon 0-10 cm.

RC : une rotation courte de 3 cultures à forte marge (Maïs-Soja-Blé). Le but de la RC est de sortir de la monoculture de maïs. Des cultures intermédiaires sont implantées entre chaque culture principale. Le maïs est globalement conduit comme MM-Ecophyto, à part le couvert. L'objectif est de réduire de **50 % l'IFT, l'apport d'azote minéral, d'eau d'irrigation et les émissions de GES**. Une céréale d'hiver et une légumineuse ont été choisies afin de casser les cycles des bioagresseurs et de limiter l'apport d'engrais azoté à l'échelle de la rotation.

RC BIO : une rotation courte en agriculture biologique avec 3 cultures principales destinées à l'alimentation humaine (Soja – Maïs pop-corn – Avoine). Ce SDC utilise des variétés rustiques, les adventices sont gérées par désherbage mécanique et faux semis. Les objectifs sont la réduction de **50 % de l'eau d'irrigation et des émissions de GES**, ainsi que **l'absence de traitement phytosanitaire et d'engrais minéraux**.

Les différents systèmes et leurs objectifs sont résumés dans la figure 2.

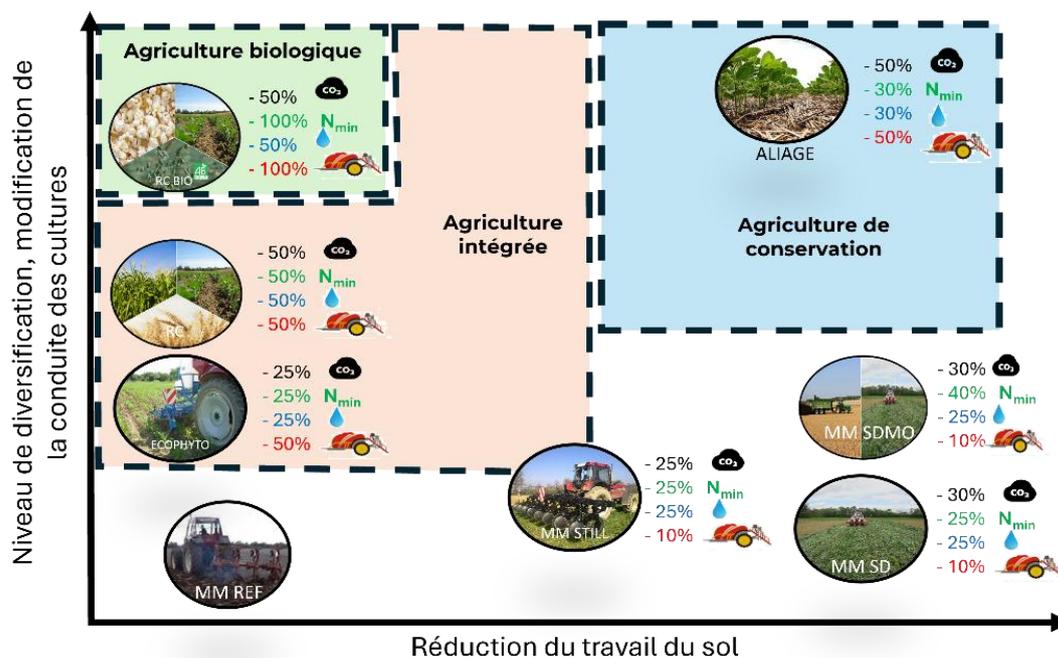


Figure 2 : les systèmes de culture testés à Lamothe en 2024 (Simon Giuliano)

### 2.3 Le système de culture ALIAGE

Le SDC ALIAGE est une rotation de culture en 5 ans issue d'un atelier de co-conception. Cet atelier s'est déroulé le 27 mars 2023 au campus de Lamothe et a réuni 15 participants avec des profils variés (Annexe 1). Ce SDC est conduit en agriculture de conservation des sols (ACS) sans glyphosate. C'est une rotation Maïs > Mélange triticale/féverole > Colza > Blé tendre d'hiver > Soja. Le travail du sol est réduit et peu profond. Il n'y a pas de labour, un strip-till est utilisé pour travailler le sol sur le futur rang de maïs, ainsi que deux déchaumages avant le colza et le soja. Ensuite, le mélange triticale/féverole et le blé sont en semis direct, après le passage de broyeur. L'itinéraire technique initialement prévu est détaillé dans la figure 3.

L'ITK n'a pas pu être suivi cette année. Les parcelles n'ont pas les mêmes précédents culturaux. Le maïs, le colza et le mélange triticale/féverole sont implantés après un système en 3 ans (Orge > Soja > Maïs ensilage associé avec du soja). Cette rotation était sans glyphosate avec un travail du sol réduit. Le blé est implanté après une monoculture de maïs ensilage, avec un couvert chaque année. Enfin, avant le soja, le système était une monoculture de maïs sous couvert végétal, avec un travail du sol en strip-till et un couvert d'inter-rang de trèfle ou de luzerne.

Des déchaumages supplémentaires ont été nécessaires pour le maïs, le colza, le blé et le mélange triticale/féverole. Ces déchaumages ont permis de décompacter le sol avant d'implanter les cultures. La pression ray-grass sur le maïs a nécessité un déchaumage supplémentaire ainsi qu'une dose d'herbicide plus élevée. Le soja a reçu une application d'herbicide non prévue. Le blé et le mélange triticale féverole n'ont pas pu être implantés en semis-direct.

## PROTOTYPE TS ALIAGE : Système travail du sol réduit autorisé et -50% d'IFT

Les actions encadrées en pointillés correspondent aux actions réalisées uniquement si besoin

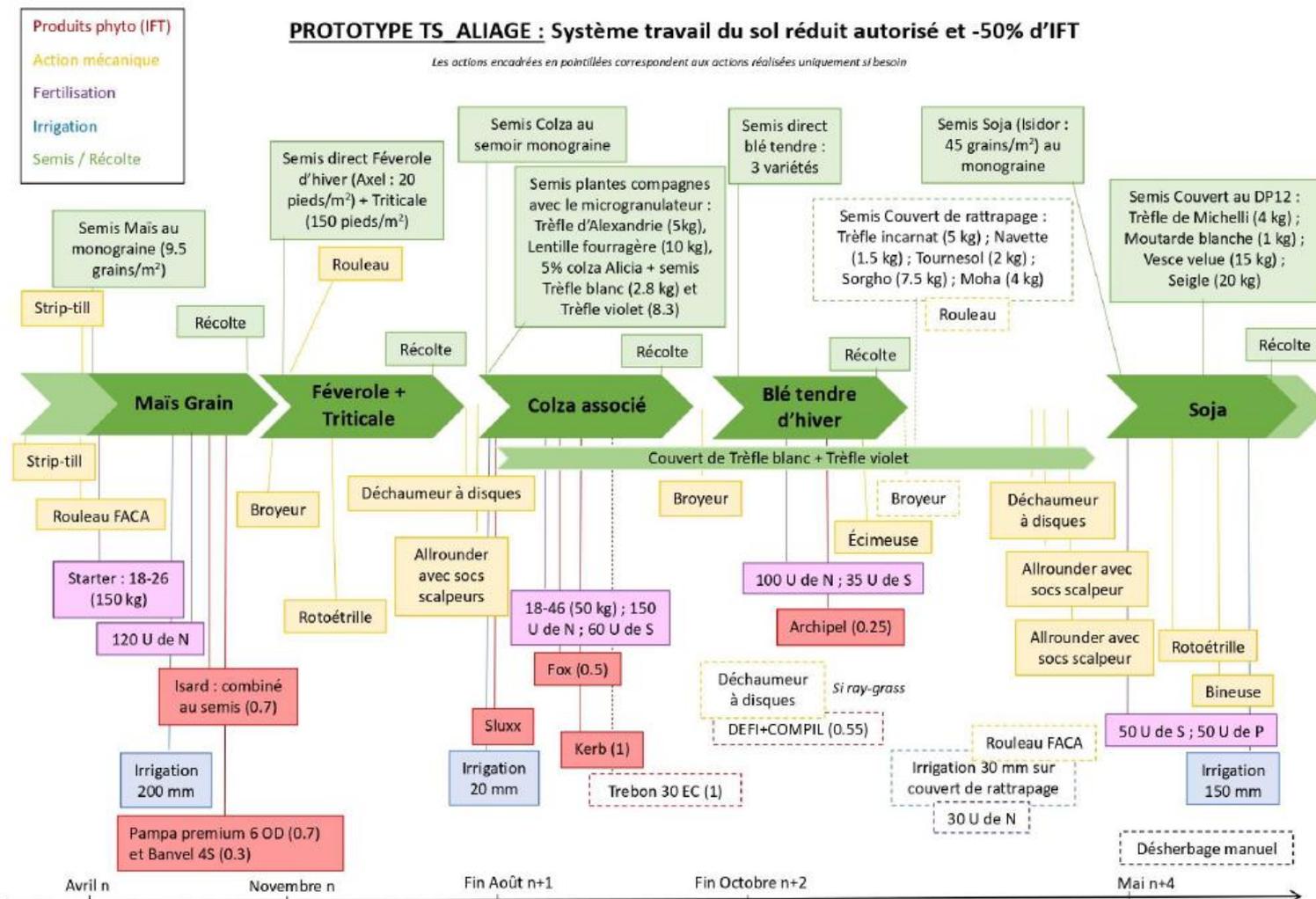


Figure 3 : Itinéraire technique proposé pour le système ALIAGE (Hermouet Edwige)

L'objectif est de réduire de 50 % l'IFT et les émissions de GES, et de 30 % l'apport d'azote et d'eau d'irrigation.

Une évaluation ex-antes du prototype ALIAGE a été réalisée par Edwige HERMOUET (Hermouet, 2023). Le prototype permettait de réduire l'apport d'azote minéral de 51 %, l'eau d'irrigation de 75 %, l'IFT de 77 % et de 43 % les émissions de GES. Les performances du prototype et du système ALIAGE implanté sont comparées avec la référence grain dans la figure 4.

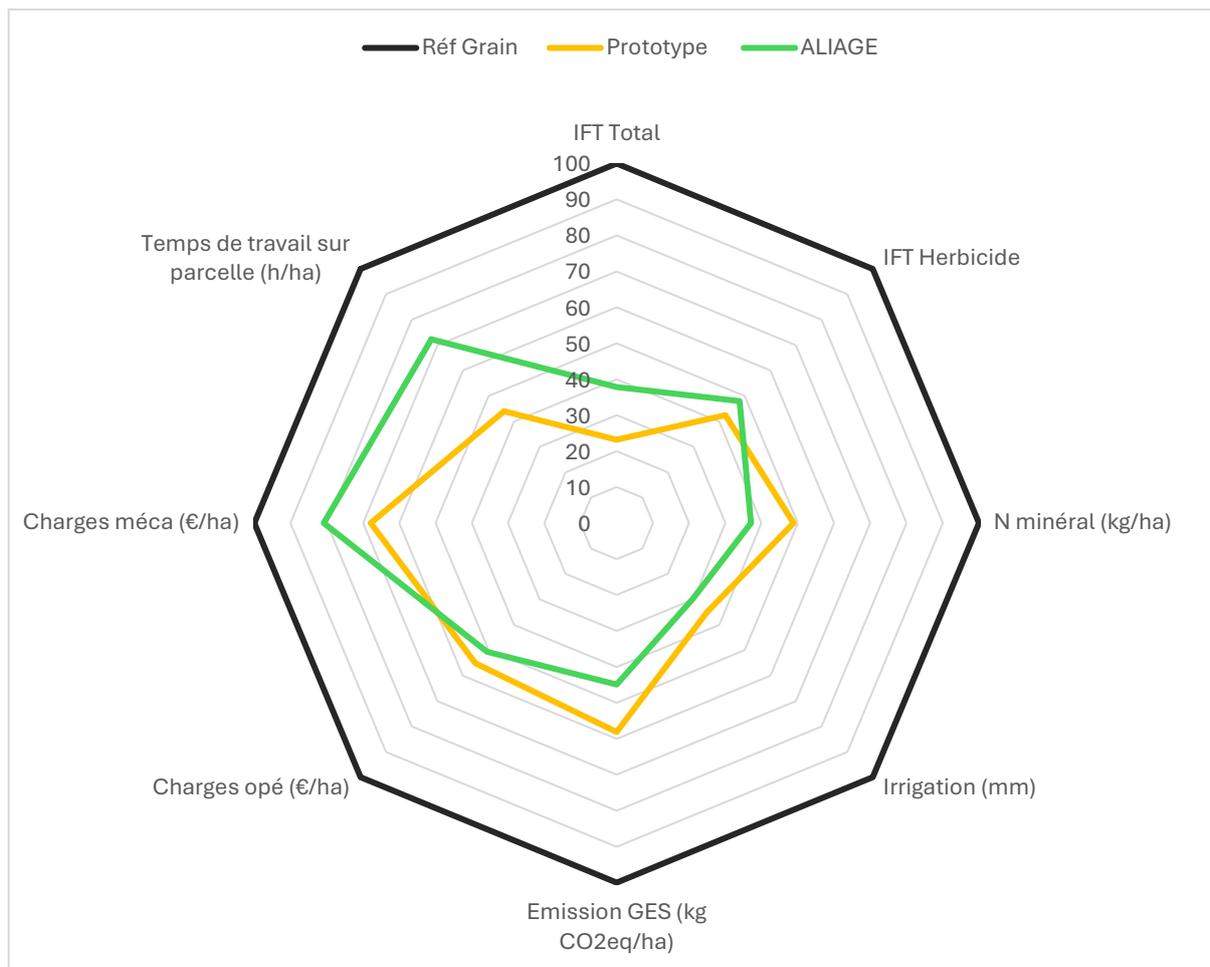


Figure 4 : Radar comparatif des performances du système ALIAGE et du prototype. Les données sont exprimées en pourcentage par rapport au système de référence.

## 2.4 Collecte des données et suivi

La collecte des données se fait à la fois au champ et *via* des logiciels. Ces données ont pour objectif de renseigner les 3 piliers du développement durable (environnemental, social et technico-économique).

Sur le terrain, plusieurs suivis et prélèvements sont effectués :

- Mesures de biomasse : les prélèvements sont effectués dans des quadrats allant de 0,25 à 0,5 m<sup>2</sup>, toutes les espèces végétales sont prélevées. Un tri par espèce (culture et adventices) est ensuite effectué au laboratoire. Les cultures sont séparées par organes (exemple du maïs : tiges, grains, rafles). Les biomasses sèches sont ensuite mesurées après passage à l'étuve 48 h à 80 °C. Des mesures de biomasses fraîches sont aussi effectuées sur les cultures afin d'obtenir le taux d'humidité. Ces mesures sont effectuées à différents stades (2-3 feuilles, floraison, maturité...) et pour chacune des cultures.

- Mesures de rendement : les épis de 2 rangs de maïs le long d'un jalon de 2,4 m, avec 4 réplicats par parcelle. Enfin, la biomasse fraîche puis sèche est mesurée, seulement pour les grains.

- Lixiviation : des plaques lysimétriques maintenues à dépression constante équivalente à la capacité au champ sont présentes sous chaque parcelle à 1 m de profondeur. Grâce à un système de pompe, l'eau de drainage est collectée environ tous les mois. Cette eau (si la quantité est suffisante) est envoyée à un

laboratoire afin de mesurer la concentration en résidus de pesticides et en principaux métabolites de dégradation.

Enfin, les données d'itinéraire technique sont toutes collectées depuis 2010 dans une base de données MicMac Utilitec, créée dans le cadre du projet de recherche ANR MicMac-Design, permettant de calculer différents indicateurs socio-économiques (temps de travail, charges, marges...), techniques (nombre de labour...) et environnementaux (dose d'azote minéral, IFT, irrigation...). Le logiciel FEAT permet de mesurer les émissions de gaz à effet de serre (GES) et le bilan d'énergie des systèmes.

## 2.5 Analyse de données

12 indicateurs ont été retenus pour représenter au mieux les SDC selon les trois dimensions du développement durable : environnementale (dose d'azote minéral, dose de phosphore, irrigation, IFT total, émission de GES) ; Social (durée d'intervention sur la parcelle) ; et technico-économique (drainage, biomasse adventice à floraison, ratio rendement, charges mécaniques, charges opérationnelles et marge semi-nette).

Le ratio rendement est le rapport du rendement de la culture mesuré expérimentalement avec le rendement moyen pour la région (chambre d'agriculture Occitanie...). La moyenne régionale prend en compte des zones moins productrices, ne rendant pas tout à fait compte de la réelle performance des systèmes autour de Toulouse. La mesure du rendement des parcelles peut avoir tendance à surestimer la valeur réelle.

$$\text{Ratio rendement} = \frac{\text{Rendement de la culture}}{\text{Rendement moyen de la région}}$$

La marge semi-nette correspond aux produits (avec primes pour les cultures en bio) déduits des charges opérationnelles (coûts des semences, des produits phytosanitaires, de l'engrais...) et mécaniques (interventions au champ, comprenant le coût du carburant).

Usuellement, la lixiviation des résidus de pesticide est aussi mesurée, mais les données ne sont pas encore disponibles.

Le logiciel R Studio (version 4.3.3) et Excel sont utilisés pour l'analyse. Une analyse en composantes principales (ACP) a ensuite été réalisée avec le package FactoShiny. Cette analyse permet de situer les SDC les uns par rapport aux autres selon les indicateurs et ainsi de les caractériser. Une classification ascendante hiérarchique, basée sur les distances euclidiennes, est utilisée afin de regrouper les SDC. Des tests statistiques supplémentaires ne sont pas pertinents, à cause du nombre trop faible de répétitions (une seule campagne culturale 2023-2024). Une simple analyse des moyennes a été effectuée sur Excel. Les graphiques ont été réalisés avec Excel ou le package ggplot2 de R.

## 2.6 Bilan climatique de la campagne 2023-2024

L'automne 2023 et le début de l'année 2024 se caractérisent par une anomalie de température d'environ +2°C en Occitanie. Le sud-ouest de la région enregistre un excédent significatif de précipitations sur cette période (figure 5 et 6). Ces conditions météorologiques impactent défavorablement l'implantation et la levée des cultures d'hiver.

À partir de la mi-juillet 2024, les températures augmentent fortement, avec un épisode caniculaire de plusieurs semaines, de fin juillet à mi-août, limitant le développement des maïs malgré l'irrigation. Enfin, les mois de septembre et octobre 2024 sont marqués par des précipitations excédentaires. Ces conditions entraînent un retard et une altération de la qualité des récoltes des cultures d'été, tout en décalant les dates de semis des cultures d'hiver pour la nouvelle campagne (DRAAF Occitanie, 2024).

Les conditions de récolte sont difficiles à cause de la forte humidité du grain. En conséquence de ce climat, en Occitanie, les rendements de maïs grain irrigué seraient de 12 % inférieurs à 2023, estimés à 101 q/ha, soit une baisse de 3 % par rapport à la moyenne quinquennale. Pour le soja, le rendement est estimé en hausse de 16 % par rapport à l'an dernier avec 27 q/ha (2023 était une mauvaise campagne à cause d'attaques exceptionnelles de ravageurs) (DRAAF Occitanie, 2024).

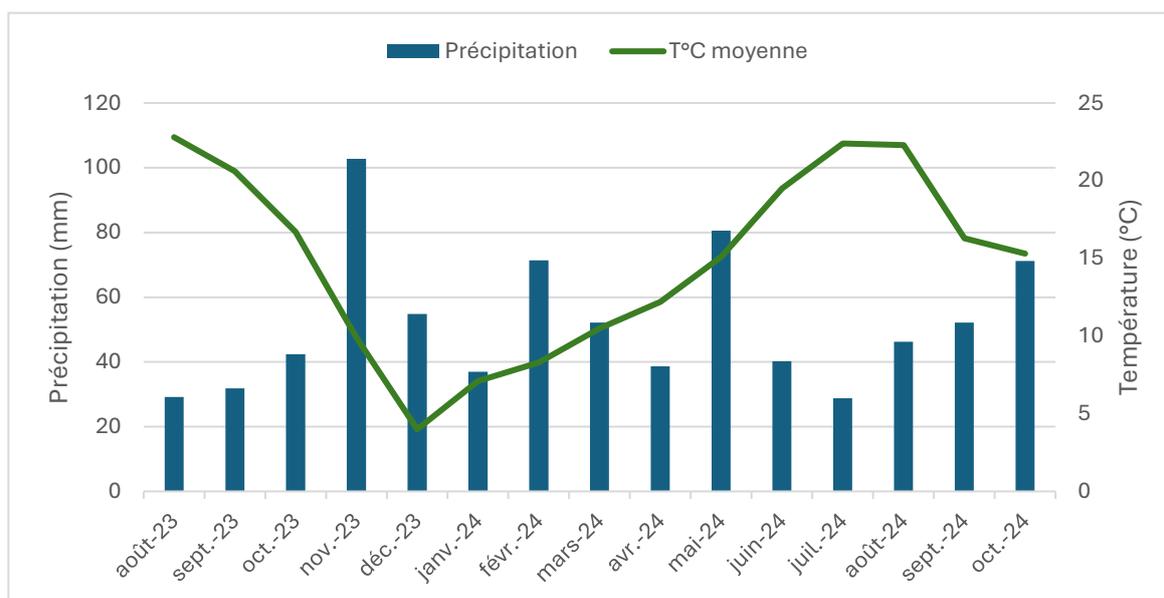


Figure 6 : Données météorologiques de la plateforme météo de la station d'expérimentation

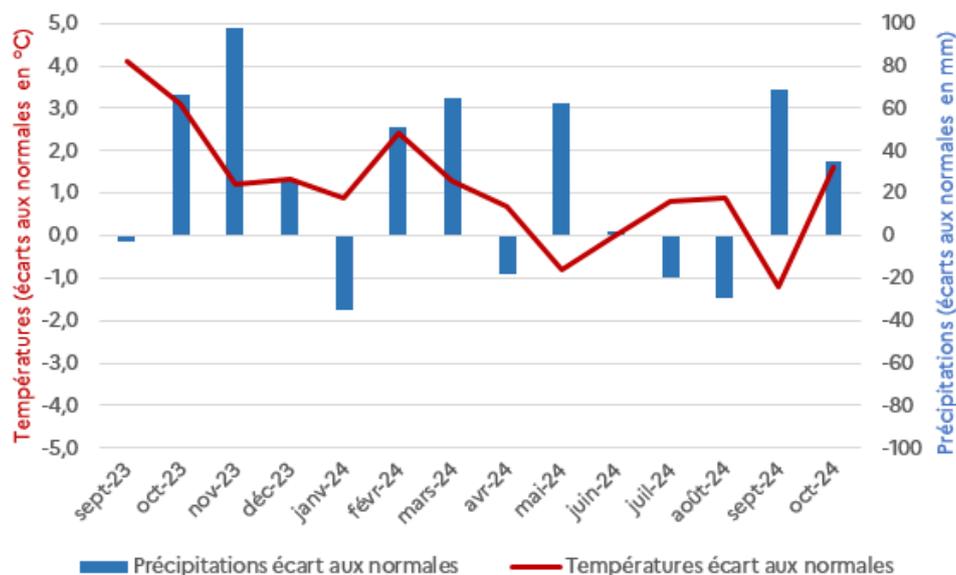


Figure 5 : Écarts aux normales des températures et précipitations dans le bassin Sud-Ouest : Agreste-Météo France, normales 1991-2020

## 3 RESULTATS ET DISCUSSION

---

### 3.1 Analyse en Composante Principale

L'analyse en composantes principales (ACP) permet de différencier les cultures selon 10 indicateurs. L'ACP inclut toutes les cultures, le drainage et la biomasse adventice ne concernent que le maïs et ne peuvent donc pas être pris en compte. Les deux premiers axes représentent 79 % de la variabilité, avec 52 % pour le premier et 27 % pour le second (Figure 7). Toutes les variables sont bien projetées (figure 8).

Le premier axe est positivement corrélé aux variables « émission GES » ; « dose N minéral » ; « dose P » ; « IFT » ; « charges opérationnelles » ; « marge semi-nette » ; « dose irrigation » et « ratio rendement ». On retrouve à droite du graphique des individus, des cultures émettrices de gaz à effet de serre et nécessitant une forte dose d'intrants (produits phytosanitaires, engrais minéral, eau d'irrigation), logiquement corrélés à de fortes charges opérationnelles. Ces cultures ont de meilleurs résultats économiques et agronomiques (marge semi-nette et ratio rendement plus élevés). La première dimension est donc plutôt une dimension environnementale et économique.

La deuxième dimension est positivement corrélée aux variables « charge méca totales » ; « durée d'intervention sur la parcelle » et « dose irrigation ». Les individus en haut du graphique sont des cultures demandant plus de temps et d'interventions sur la parcelle, entraînant des charges mécaniques élevées. La deuxième dimension est ainsi plutôt une dimension sociale et technique.

Les individus correspondant à la moyenne des monocultures sont mis en individus supplémentaires (en bleu sur le graphique).

La classification nous permet de distinguer 3 groupes (figure 9).

À droite du graphique des individus, on retrouve un premier groupe constitué des monocultures de maïs et des maïs ALIAGE et RC. Ces SDC et cultures sont les plus émetteurs de gaz à effet de serre ainsi que les plus consommateurs d'intrants. On remarque que les deux maïs des rotations sont proches, plus au-dessus, indiquant des charges mécaniques et un temps de travail sur la parcelle plus élevés, à l'inverse des 3 monocultures en réduction du travail du sol (SD, SD-compost et Still).

Le deuxième groupe est situé en haut à gauche du graphique, il est constitué des 3 sojas et du maïs popcorn RC-BIO. Ce sont des cultures peu émettrices de GES liés au faible apport d'intrants. Ces cultures nécessitent un temps de travail plus important que les autres cultures de la plateforme, ce qui engendre des charges mécaniques fortes. Les performances économiques et agronomiques sont aussi moindres.

Enfin, le dernier groupe en bas à gauche est constitué des cultures d'hiver : blé, avoine, colza et le mélange triticale/féverole. La différence avec le groupe 2 provient des charges mécaniques et du temps de travail plus faible ainsi que de l'absence d'irrigation.

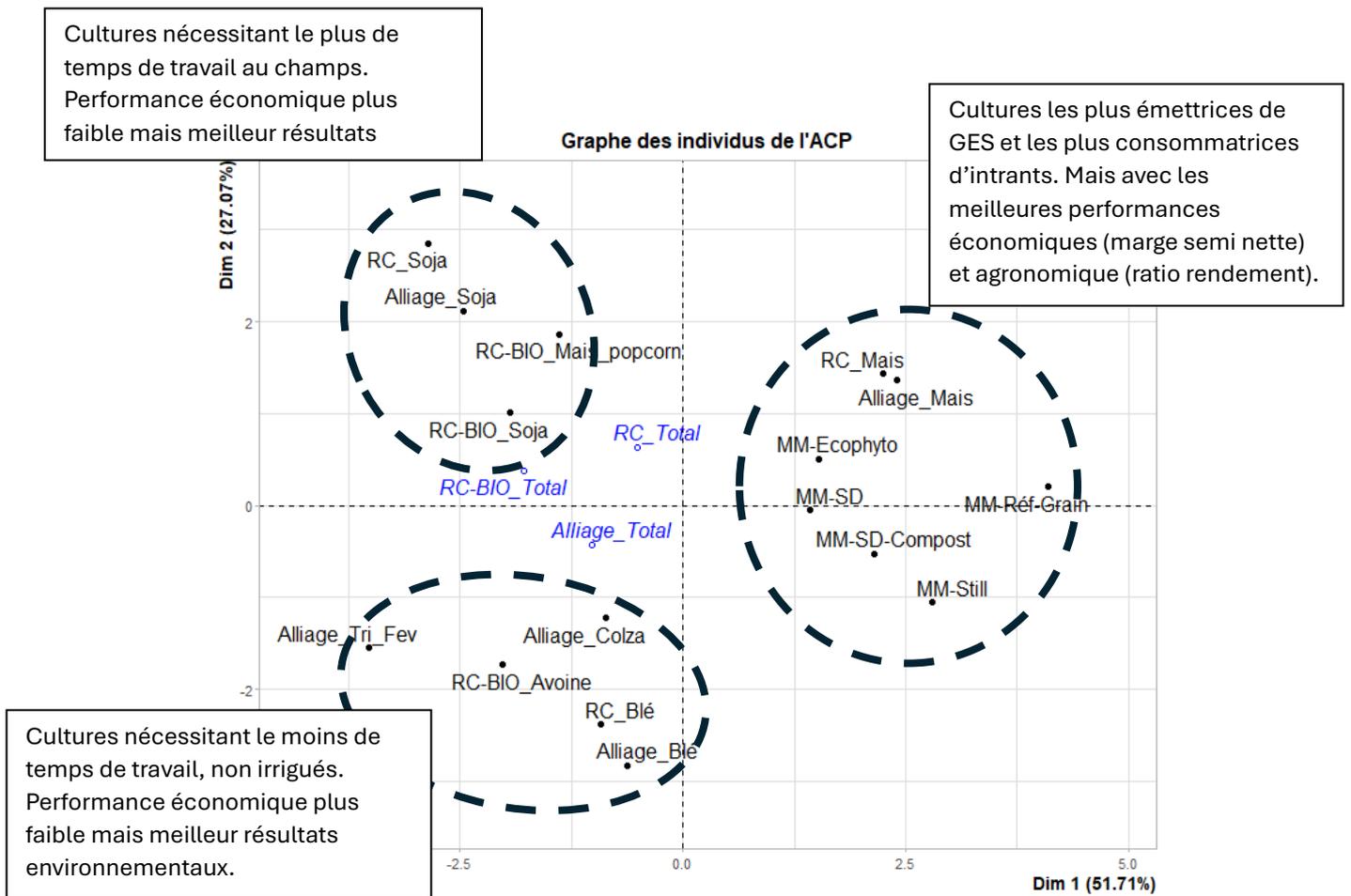


Figure 9 Graphique des individus de l'ACP

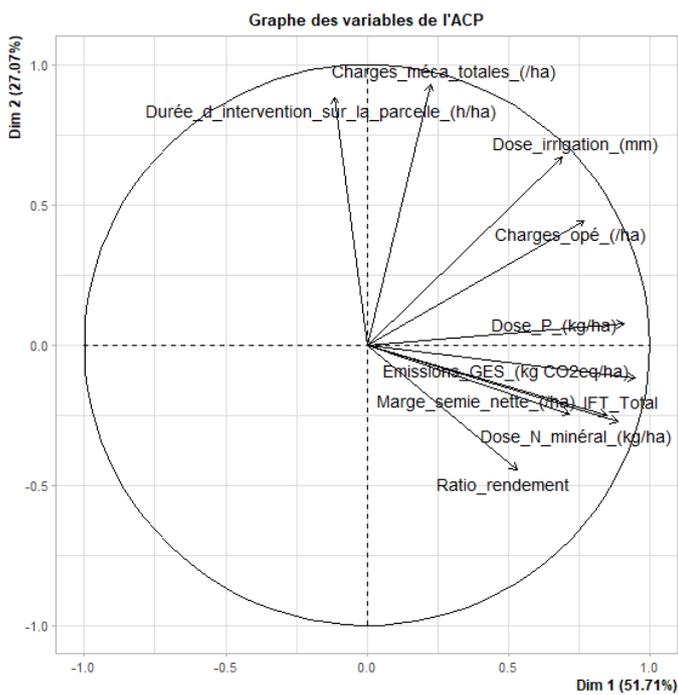


Figure 7 : Graphique des variables de l'ACP

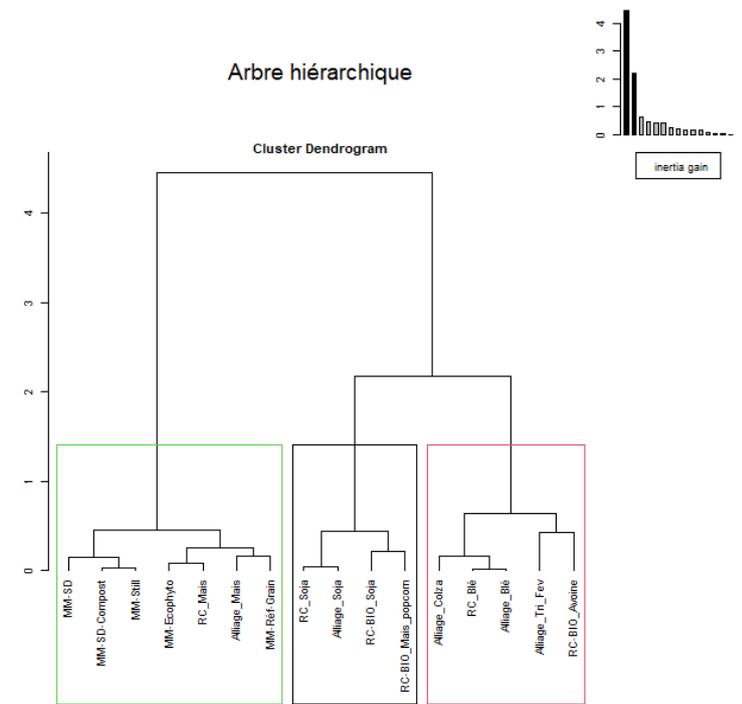


Figure 8 : Classification ascendante hiérarchique des SDC

## 3.2 Environnemental

### 3.2.1 Dose d'azote et phosphore minéral

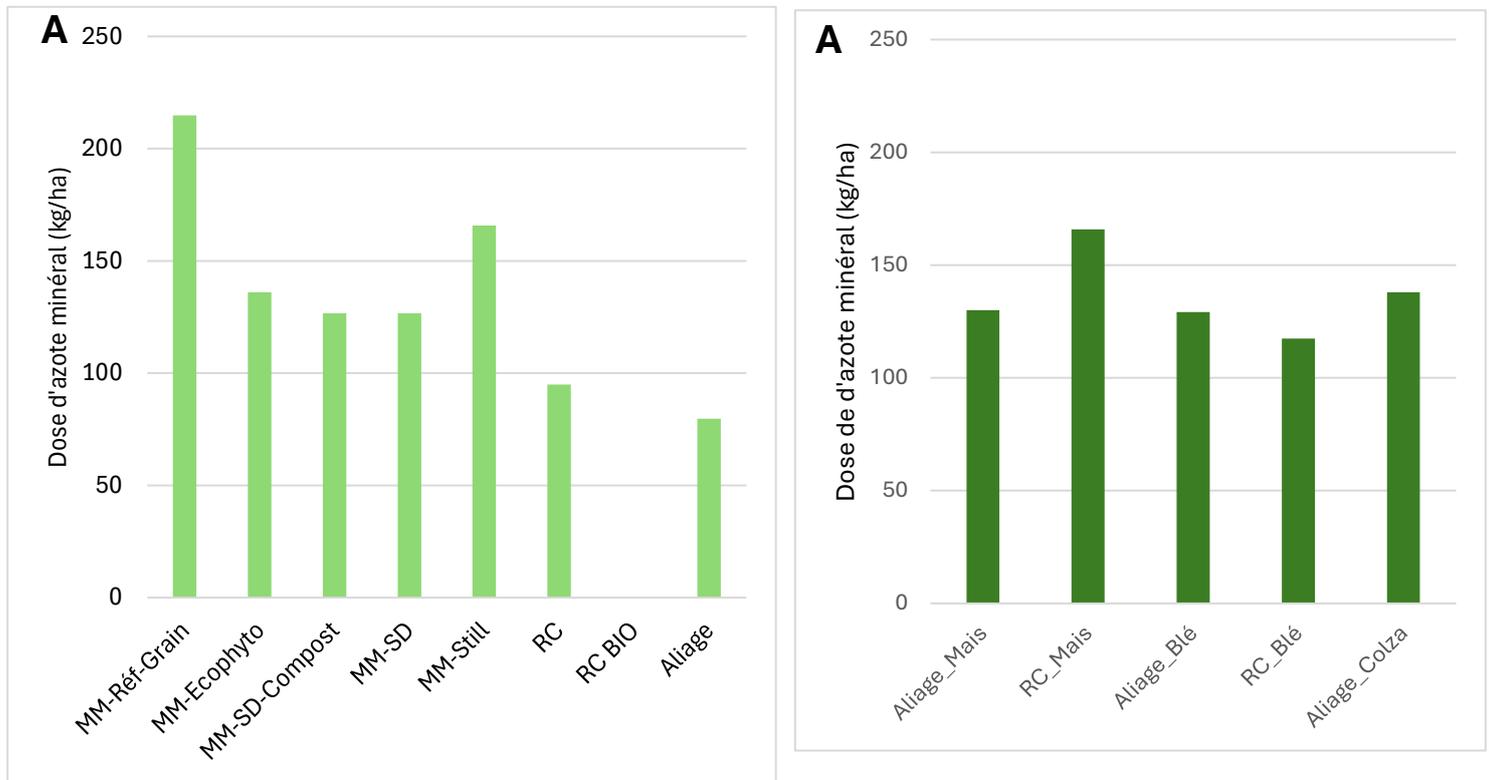


Figure 10 : Dose d'azote minéral selon les SDC (A) et les cultures d'ALIAGE et RC (B)

La figure 10 A montre que MM-réf-grain est le système le plus consommateur d'azote minéral, avec  $210 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Ce système fait appel à 3 passages de fertilisation, tout comme le système Strip-till (avec des doses réduites de 25 %). Les autres monocultures (MM-SD, MM-SD-compost et MM-Ecophyto) ne réalisent que 2 passages de fertilisants et une conduite similaire avec  $125 \text{ kg N ha}^{-1}$  (40 % de moins que la référence).

On remarque que les rotations de cultures (RC, RC-BIO et ALIAGE) se démarquent par une diminution plus importante de la dose d'azote au champ.

Parmi les SDC conventionnels, ALIAGE est le SDC le moins consommateur en azote minéral. ALIAGE nécessite en moyenne  $80 \text{ kg N ha}^{-1}$  d'azote, ce qui représente une diminution de 65 % par rapport à MM-réf-grain, supérieur à l'objectif de réduction de 30 % visé. ALIAGE consomme 15 % d'azote de moins que RC ( $95 \text{ kg/ha}$ ). Ces deux rotations consomment moins d'engrais grâce à l'implantation de soja et, pour ALIAGE, d'un mélange triticales/féverole sur lesquels aucun engrais n'est utilisé (figure 10 B). Le maïs ALIAGE consomme 15 % d'azote de moins que RC, similaire à MM-Ecophyto. Concernant le blé et le colza, la fertilisation azotée était de  $120 \text{ kg/ha}$ , soit 25% de moins que la moyenne régionale. Aujourd'hui, l'effet de la rotation n'est pas encore mesurable, mais on peut imaginer que la culture de féverole/triticales pourrait permettre de diminuer l'apport d'azote pour la culture de blé tendre d'hiver.

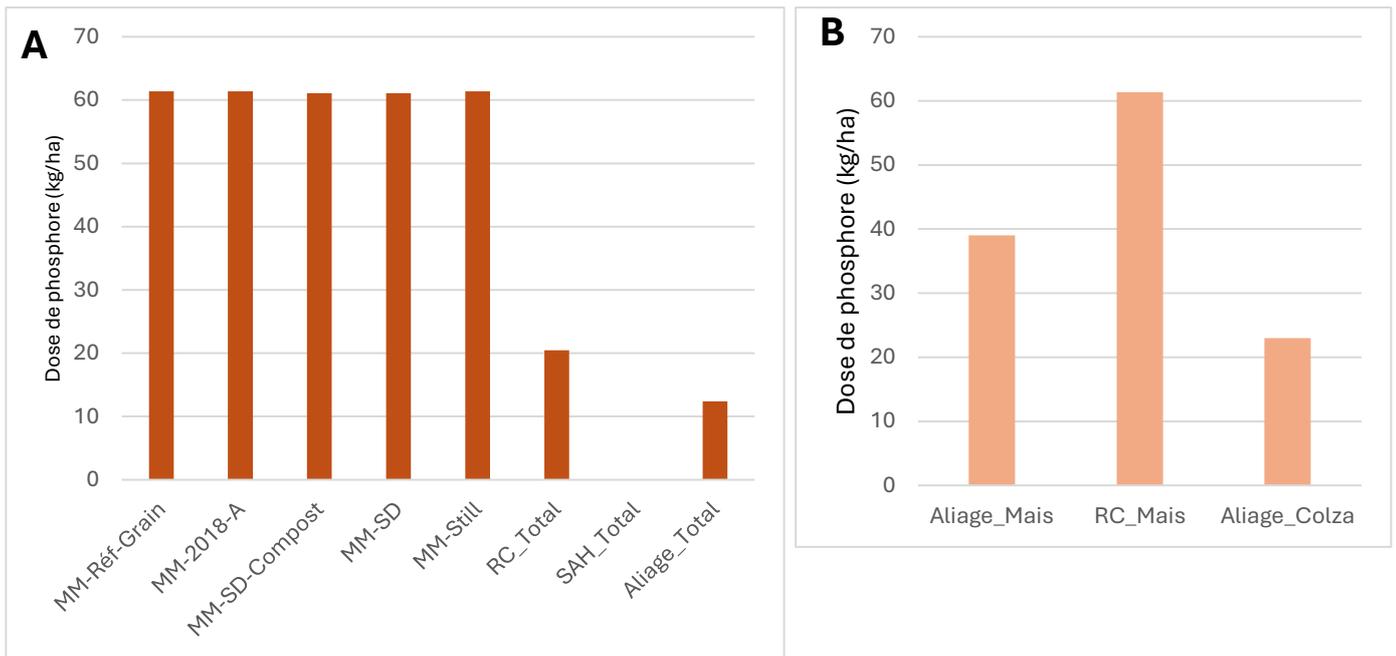


Figure 11 : Dose de P pour les SDC (A) et les cultures d'ALIAGE et RC (B)

Concernant l'apport de phosphore (figure 11 B), toutes les monocultures de maïs ont reçu une dose identique d'environ 60 kg N ha<sup>-1</sup>, apportée sous forme d'engrais starter au semis. Les 3 rotations consomment moins de phosphore du fait de la diversification des cultures. Sur ALIAGE, seuls le maïs et le colza reçoivent du phosphore, réduisant la dose moyenne. RC permet une réduction de 66 % de la consommation de P, alors qu'ALIAGE consomme 80 % de phosphore en moins que la référence. Le système ALIAGE est donc le SDC conventionnel le moins consommateur d'engrais minéraux, par réduction des doses et une fréquence d'application réduite dans la rotation (3 cultures sur 5 recevant de l'engrais minéral).

### 3.2.2 Irrigation

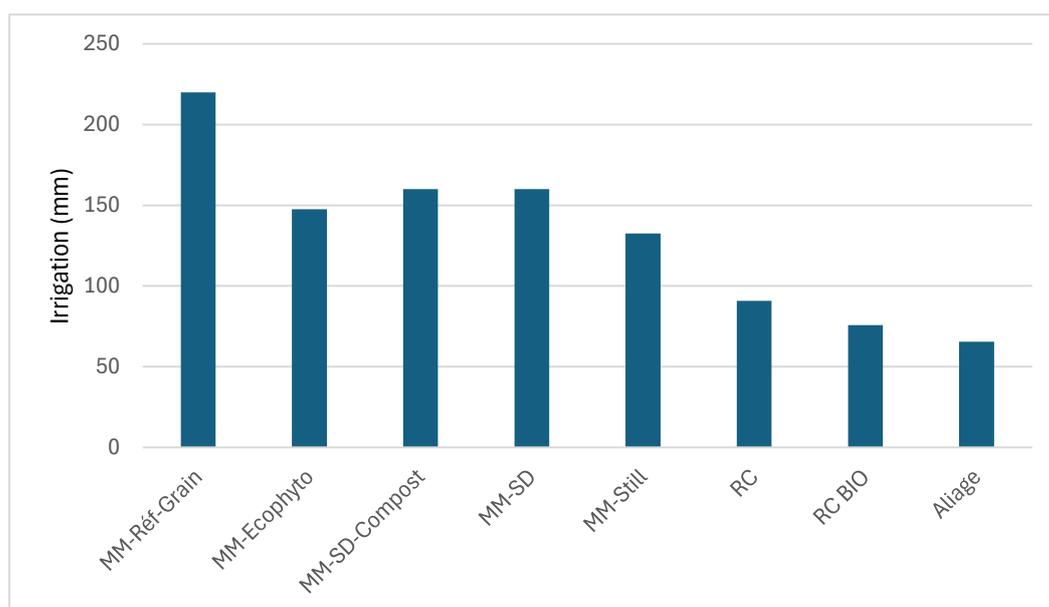


Figure 12 : Dose d'irrigation par SDC

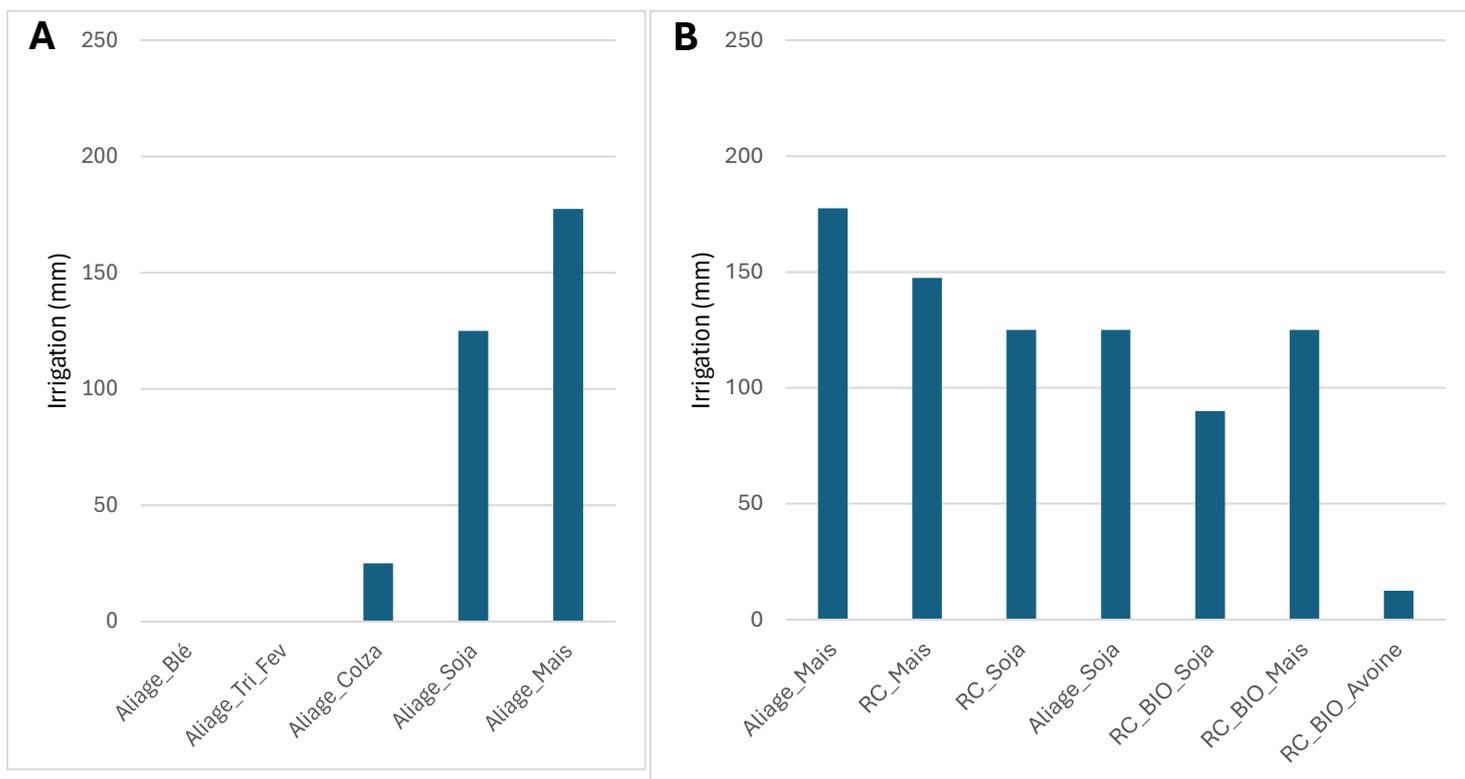


Figure 13 : Dose d'irrigation pour les cultures d'ALIAGE (A) et comparaison entre les cultures des rotations (B)

MM-réf-grain a été irrigué à hauteur de 220 mm d'eau (Figure 12) en 7 passages. SD et SD-Compost ont reçu 27 % d'eau de moins que la référence. S'ensuit MM-Ecophyto avec une diminution de 33 %, puis MM-Still à -40 %.

Les rotations de cultures permettent de diminuer la consommation d'eau à l'échelle de la rotation grâce à l'implantation de cultures d'hiver (blé, mélange triticale/féverole, avoine et colza). ALIAGE est la rotation de culture la moins consommatrice d'eau d'irrigation, avec un apport moyen de 65 mm par an, correspondant à une réduction de 70 % de la consommation en eau d'irrigation par rapport à MM-réf-grain. L'objectif visé de -30 % est dépassé.

Le maïs ALIAGE est la culture la plus irriguée des rotations (figure 13 A) (177mm contre 147 pour RC maïs et 125 pour le maïs popcorn de RC-BIO (Figure 13 B)). Le soja RC-BIO est 30 % moins irrigué que les sojas conventionnels de RC et ALIAGE. Enfin, l'avoine et le colza sont deux cultures très peu consommatrices en eau, ayant nécessité un tour d'eau en octobre à cause du manque de précipitations.

Le système ALIAGE permet de diminuer de 70 % l'apport d'eau à l'échelle de la rotation, ce qui en fait un atout majeur dans les régions du sud-ouest, souvent soumises à de fortes sécheresses.

### 3.2.3 Indicateur de fréquence de traitement phytosanitaire (IFT)

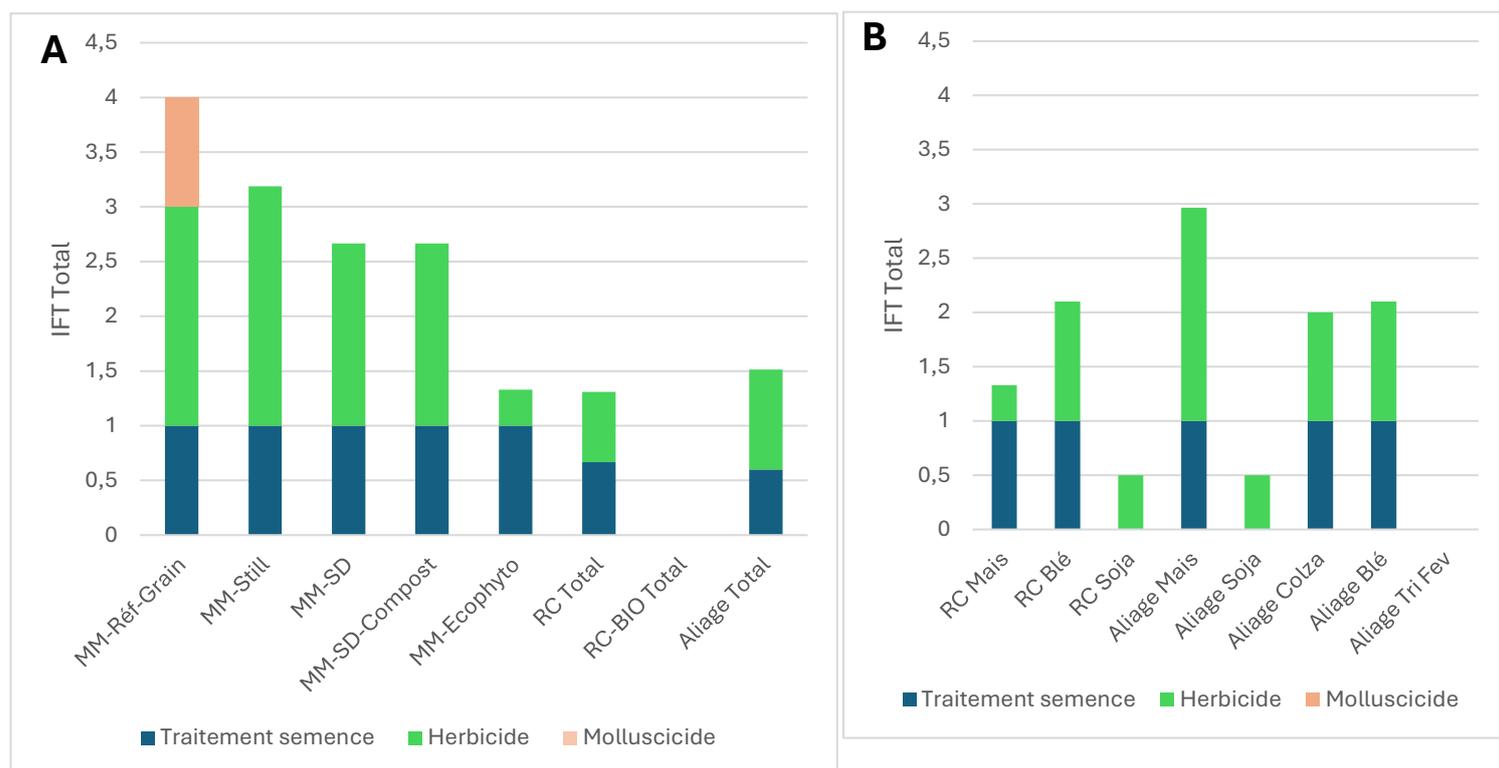


Figure 14 : IFT total des SDC (A) et des cultures d'ALIAGE et RC (B)

L'indicateur « IFT total » prend en compte les traitements phytosanitaires au champ et les traitements de semence. Les semences de maïs de tous les SDC (sauf RC BIO), de blé et de colza sont traitées, rajoutant 1 à la valeur de l'IFT. Tous les traitements phytosanitaires au champs sont des herbicides, sauf un traitement molluscicide pour MM-réf-grain. L'enjeu autour de la réduction de l'IFT en culture est donc, dans notre cas, la gestion des adventices.

MM-réf-grain utilise le plus de produits phytosanitaires avec un IFT de 4, comprenant 3 herbicides et un molluscicide. MM-still permet de réduire de 20 % l'IFT, SD et SD-compost de 35 %, par rapport au conventionnel (figure 14 A). Cette réduction s'explique par une utilisation de molluscicide autorisé en agriculture biologique (slux). En effet, MM-Still nécessite 10 % d'herbicide de plus que MM-réf grain, MM-SD et MM-SD-Compost ne réduisent que de 15 % la dose d'herbicide. Ces SDC utilisent des couverts intermédiaires afin de mieux contrôler l'apparition des adventices. Pour MM-Still, ce couvert est détruit chimiquement avec du glyphosate, puis des herbicides sont appliqués au semis. Pour les systèmes en semis-direct, le couvert est détruit mécaniquement et les herbicides sont appliqués 2 mois après le semis.

RC et MM-Ecophyto sont équivalents avec respectivement 1,33 et 1,31 d'IFT total. La gestion des adventices pour Ecophyto se fait via un labour chaque année ; une application d'herbicide lors du semi et un couvert de ray-grass, de trèfle (violet et incarnat) et de vesce. RC profite du soja (IFT total de 0,5, pas de traitement de semence) et d'un maïs moins traité à 1,33 d'IFT grâce à un couvert intermédiaire, du désherbage mécanique (bineuse) et d'une seule application d'herbicide.

Le système ALIAGE permet de réduire de 65 % l'IFT total et l'IFT herbicide par rapport à MM-réf-grain, validant l'objectif initial de -50 %. Cela reste légèrement plus élevé que MM-Ecophyto et RC. La campagne 2023-2024 est la première année d'implantation d'ALIAGE. La gestion des adventices a

été difficile, entraînant une dose d'herbicide plus élevée que l'itinéraire technique prévu. Le soja ne devait pas recevoir d'herbicide, mais la forte pression en adventices (Albutilon, chénopode, chardon des champs...) a nécessité un désherbage chimique. La dose appliquée sur le maïs est 10 % plus élevée que prévu (IFT = 3 contre 2.7 pour le prototype) à cause des ray-grass présents dans le couvert et non détruits à l'implantation et des chardons. La dose d'herbicide du maïs ALIAGE est égale à celle de MM-réf-grain.

Les IFT d'ALIAGE sont proches de ceux de RC et de MM-Ecophyto. L'objectif de réduction est atteint malgré un IFT légèrement supérieur à l'IFT prévu dans l'ITK initial (1.5 contre 1.4 pour le prototype conçu), lié à la gestion difficile des adventices (graminées et vivaces) de cette première année d'essai.

### 3.2.4 Emission de gaz à effet de serre (GES)

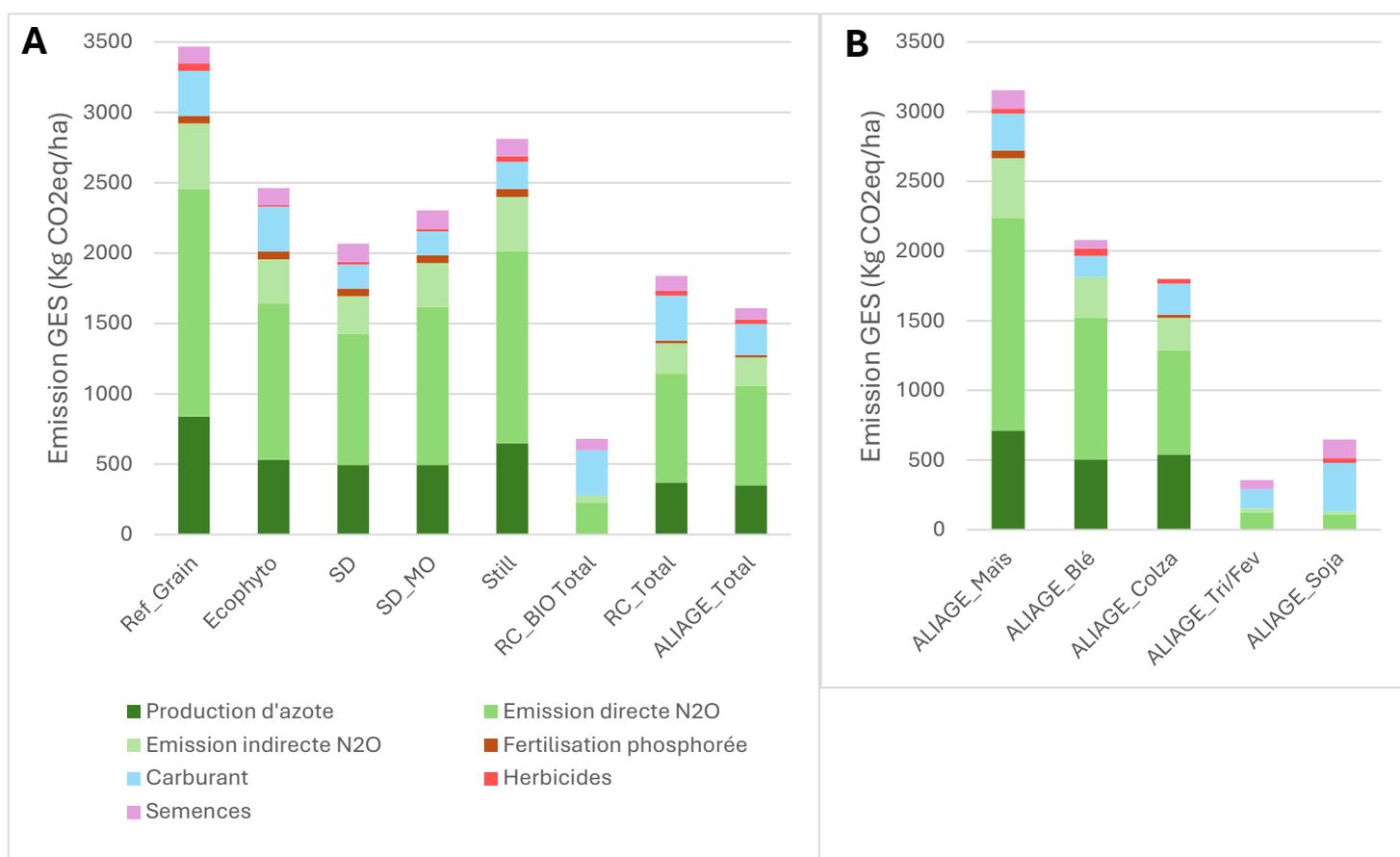


Figure 15 : : Emissions de GES des SDC (A) et des cultures d'ALIAGE (B)

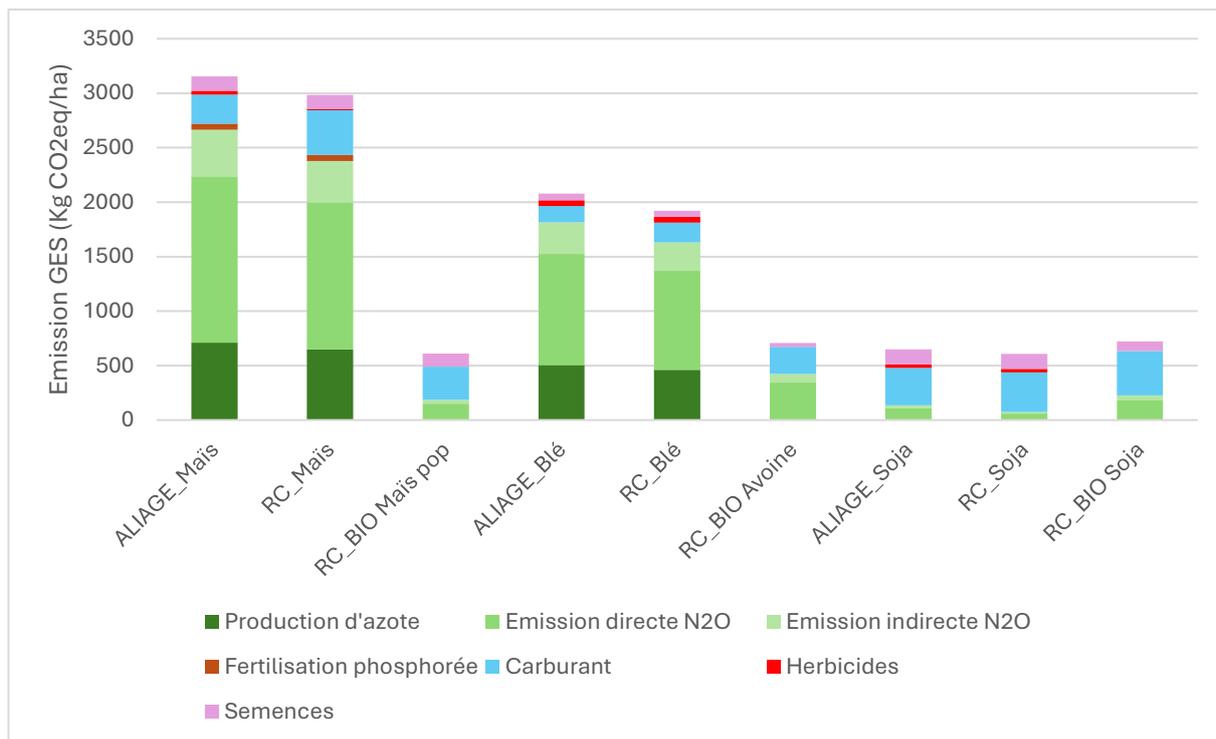


Figure 16 : Comparaison de l'Emissions de GES des cultures des rotations

On remarque que l'émission de GES est très fortement corrélée à l'apport d'engrais azoté minéral. Par exemple, 80 % des émissions de MM-réf-grain et 60 % de celles d'ALIAGE sont liées à la fertilisation azotée. Ces émissions correspondent à la production d'azote, à l'émission directe (processus de nitrification et de dénitrification dans le sol, après fertilisation) et aux émissions indirectes (lixiviation et volatilisation) (Recous et al., 2014). On retrouve quelques émissions indirectes et directes sans apport d'azote minéral, comme pour RC-BIO. Les émissions restantes proviennent des semences, du carburant, de la fertilisation phosphorée et des herbicides.

Dans la continuité des apports en engrais minéraux, ALIAGE est le deuxième système le moins émetteur de GES après RC-BIO, permettant 55 % de réduction par rapport à la référence (figure 15 et 16).

### 3.3 Socio-Economique

#### 3.3.1 *Temps de travail*

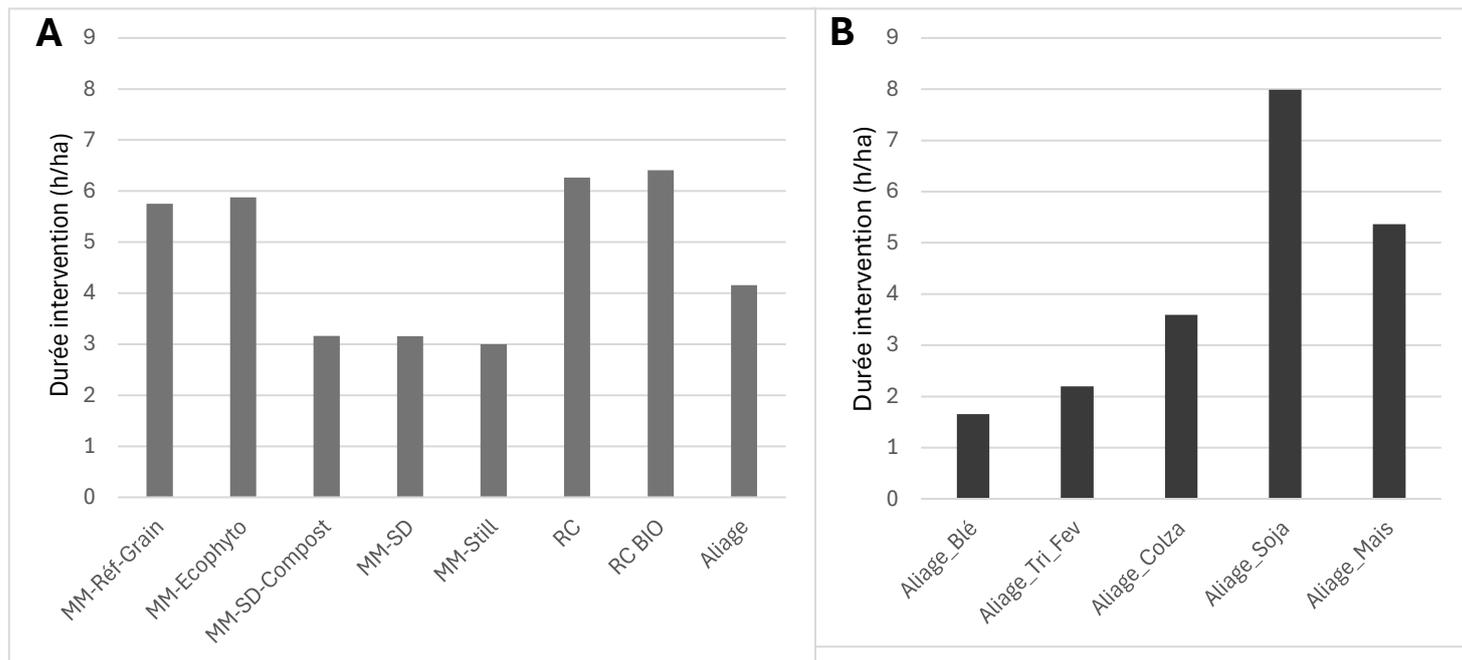


Figure 17 : Temps de travail sur la parcelle pour les SDC (A) et les cultures d'ALIAGE (B)

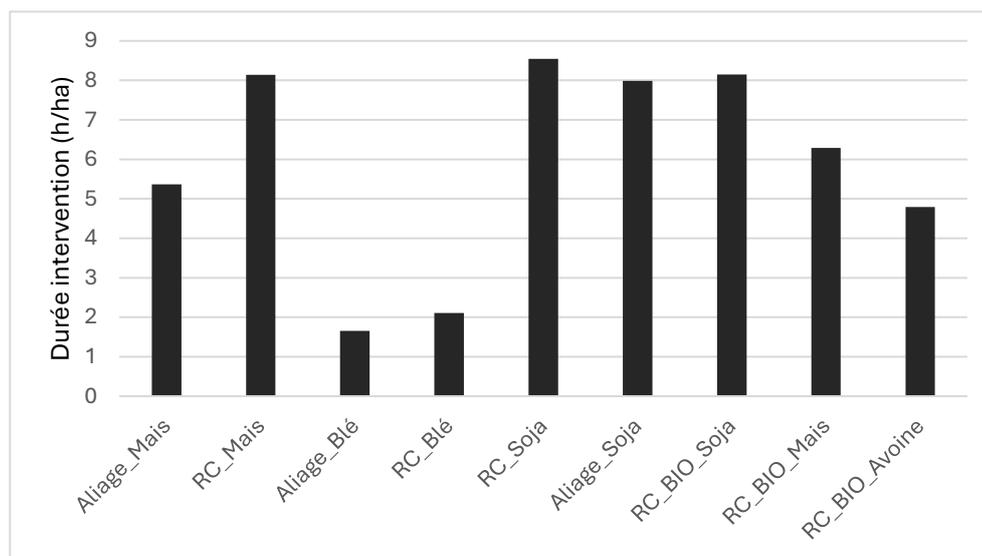


Figure 18 : Temps de travail sur la parcelle des cultures des rotations

Les travaux du sol sont les interventions les plus chronophages, notamment le labour avec environ  $2,5 \text{ h.ha}^{-1}$  par intervention.

MM-réf-grain nécessite environ  $5,8 \text{ h.ha}^{-1}$ , lié au travail du sol avant semis (déchaumage, labour et reprises). MM-Ecophyto nécessite un peu plus de temps au champ avec  $5,9 \text{ h.ha}^{-1}$ , à cause du semis du couvert dans la culture (figure 17 A).

Ensuite, les 3 monocultures en réduction du travail du sol (MM-Still, MM-SD et MM-SD-Compost) permettent de diminuer la durée d'intervention sur la parcelle de 50 % avec environ  $3 \text{ h.ha}^{-1}$ . Les rotations de cultures, RC et RC-BIO, se caractérisent par un temps d'intervention de 8 et 10 % supérieur à la référence. Le temps de travail élevé de RC s'explique par le maïs et le soja (environ 8

h.ha<sup>-1</sup>). L'ITK du maïs RC comprend de nombreux travaux du sol (labour, déchaumage), la destruction du couvert et le désherbage mécanique. Le soja est conduit avec 3 désherbages mécaniques, couplé à la gestion d'un couvert végétal (semis, destruction). Le temps de travail de la rotation BIO provient du travail du sol (labour avant avoine et soja), des désherbages mécaniques et de la gestion des cultures intermédiaires (figure 18).

ALIAGE se situe entre les rotations et les monocultures en réduction du travail du sol, avec une durée d'intervention d'environ 4,2 h.ha<sup>-1</sup>. Pour les mêmes raisons que RC, le soja est une culture demandant une forte durée d'intervention sur la parcelle. Le maïs est à peu près similaire à la référence et à Ecophyto. Les 3 autres cultures ; le blé (1,7 h.ha<sup>-1</sup>), le mélange triticale/féverole (2,2 h.ha<sup>-1</sup>) et le colza (3,5 h.ha<sup>-1</sup>) ; permettent de réduire le temps de travail global figure (17 B).

Il est important de noter que le temps de travail au champ n'a permis d'atteindre les objectifs fixés initialement (-28 % contre -46 % pour le prototype). L'itinéraire technique prévu à la suite de l'atelier de co-conception n'a pas pu être suivi la première année. Des déchaumages ont été effectués afin de décompacter le sol (avant triticale/féverole, soja, blé). Certaines interventions ont dû être ajoutées pour gérer les adventices (ray-grass, vivaces...) afin de maintenir les performances du SDC. Ces interventions n'auront probablement pas lieu lors des prochaines campagnes, une fois le SDC en place, réduisant la durée d'intervention globale du système.

### 3.4 Agronomie

#### 3.4.1 *Drainage*

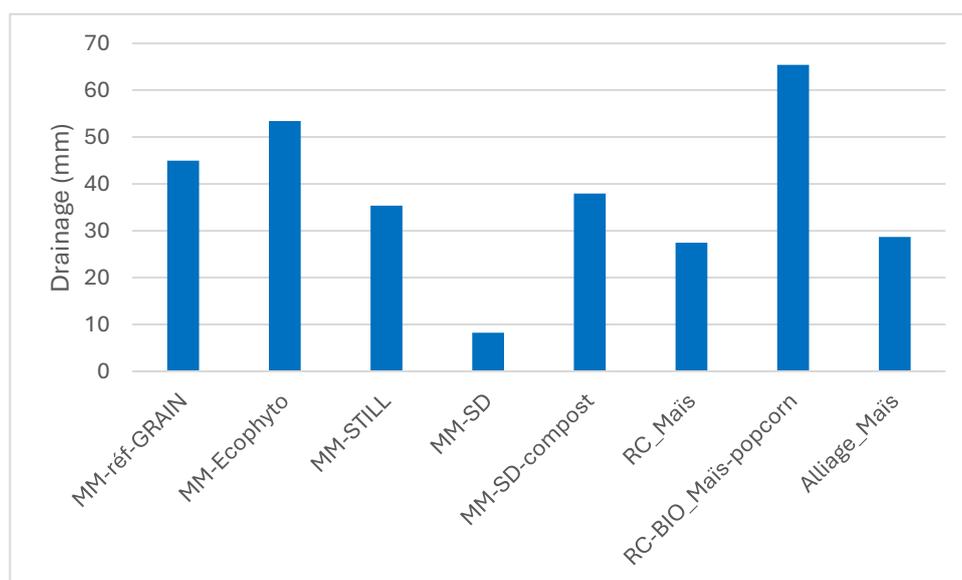


Figure 19 : Drainage cumulé des cultures de maïs entre avril et octobre 2024

Le drainage cumulé des SDC est mesuré sur les cultures de maïs entre avril et octobre (figure 19); le reste de l'année, une nappe d'accompagnement du Touch (rivière adjacente aux expérimentations) a tendance à remonter, rendant les mesures impossibles.

En 2024, MM-réf-grain a un drainage cumulé de 45 mm, MM-Ecophyto de 53mm, MM-Still de 35mm. MM-SD est nettement plus faible que MM-SD-Compost avec 8mm cumulés contre 38mm pour MM-SD-Compost. RC-BIO maïs-popcorn est la culture avec le plus de drainage. Le maïs popcorn nécessite le même apport d'eau que les maïs grain mais possède une biomasse beaucoup plus faible tout en étant moins couvrant. Enfin, les maïs RC et ALIAGE sont équivalents avec environ 28mm d'eau drainée cumulée, la réduction des doses d'irrigation ayant probablement limité le drainage.

### 3.4.2 Biomasse Adventice

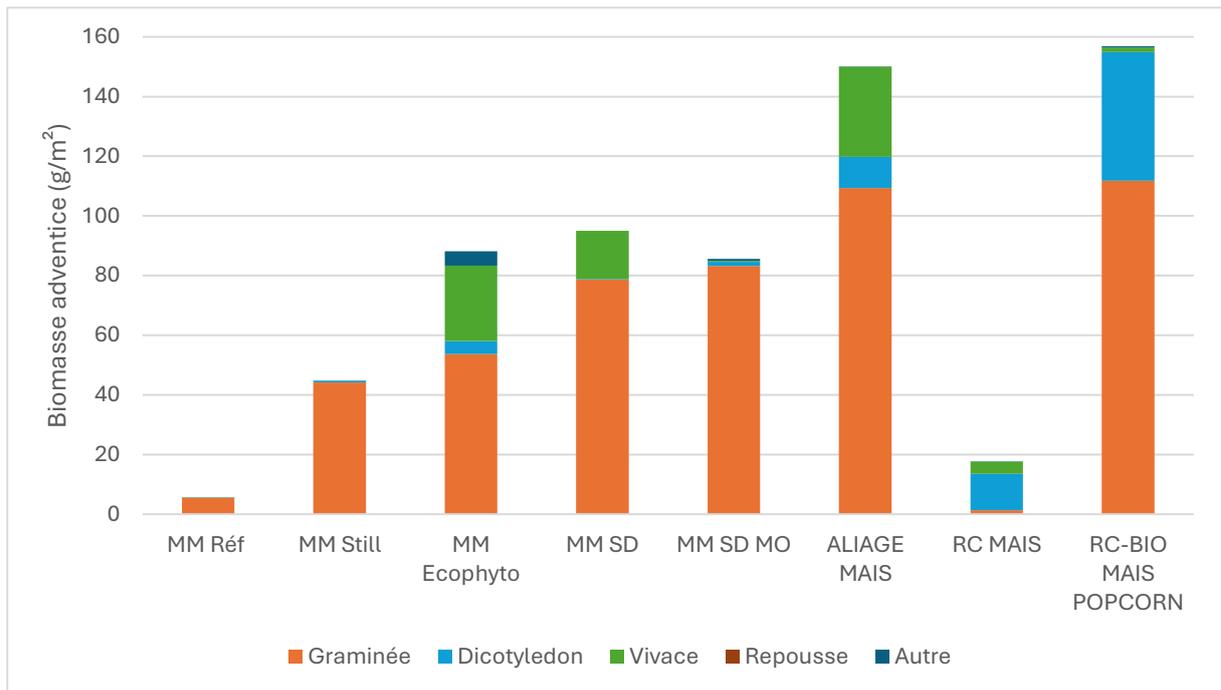


Figure 21 : Composition de la biomasse adventice des cultures de maïs

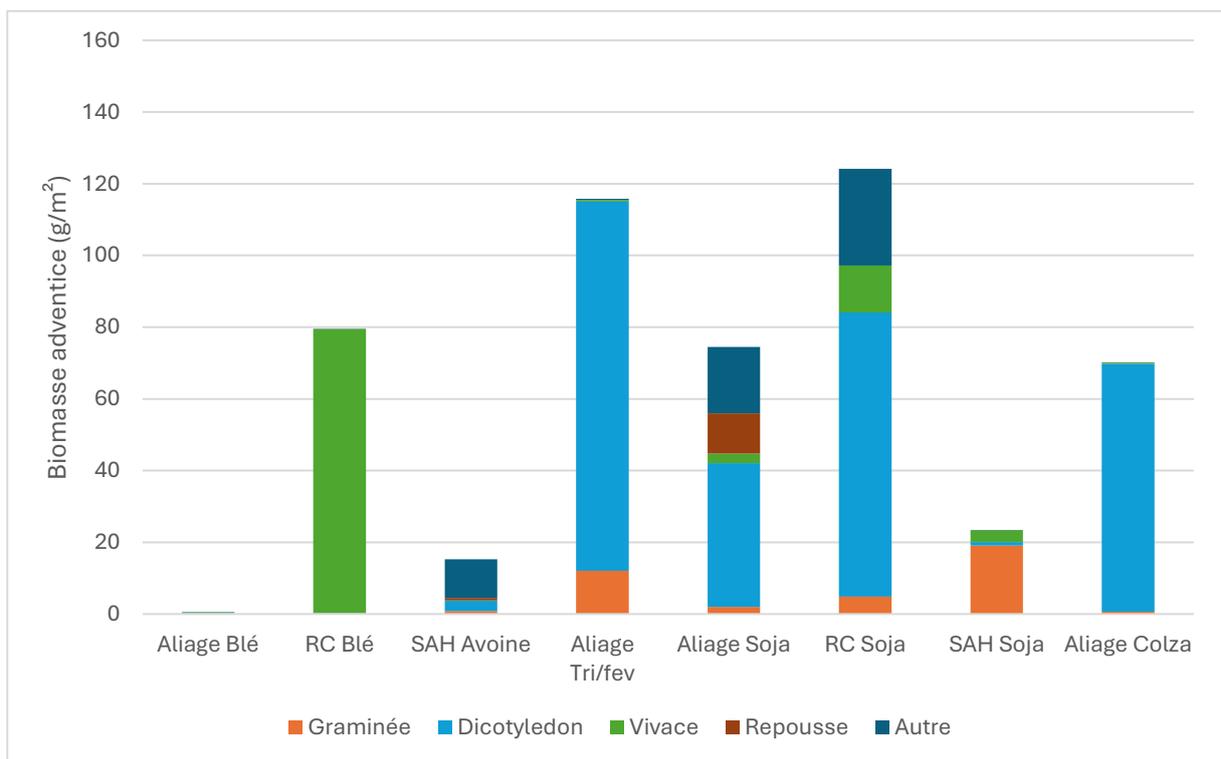


Figure 20 : Composition de la biomasse adventice des cultures des rotations

La biomasse adventice correspond à la biomasse sèche des adventices présentes sur les parcelles à floraison, pour chaque culture. Dans les adventices sont comprises les adventices des cultures, les repousses de cultures précédentes et les restes de couvert non désirés. ALIAGE en est à sa première année d'essai, il est donc très compliqué d'analyser les résultats de ce système puisque les adventices résulteront surtout des pratiques précédentes (différentes pour chaque parcelle d'ALIAGE) et non de l'effet de la rotation.

La figure 20MM-réf-grain possède la biomasse adventice la plus faible avec  $5,8 \text{ g.m}^{-2}$ , expliqué par la forte dose d'herbicide et le labour chaque année. MM-Still est le deuxième SDC avec le moins d'adventices ( $44 \text{ g.m}^{-2}$ ) lié à un IFT élevé et à l'utilisation de glyphosate lors de la destruction du couvert. SD-compost comporte  $85 \text{ g.m}^{-2}$  soit 10 % de moins que SD, malgré l'itinéraire technique identique. La différence vient de la présence de vivaces, représentant 15 % de la biomasse de SD. L'apport de MO pour SD-Compost permet un meilleur développement du maïs et du couvert intermédiaire limitant le développement des adventices. Pour ces SDC, la biomasse présente est majoritairement due aux graminées (Panic pied de coq, sétaire glauque et digitaire sanguine). Ecophyto est caractérisé par une biomasse adventice de  $88 \text{ g.m}^{-2}$ , liée à la diminution de l'IFT sans ajout de désherbage mécanique. Les adventices sont plutôt gérées par l'implantation d'un couvert 2 mois après le semis. On retrouve, en plus des graminées vues précédemment, des adventices vivaces comme le liseron des haies et la ronce commune.

Les 3 rotations de cultures possèdent une flore adventice plus diversifiée avec une présence plus marquée de dicotylédones. Pour les maïs, RC se démarque par une biomasse adventice faible ( $17 \text{ g.m}^{-2}$ ), contrairement à ALIAGE ( $150 \text{ g.m}^{-2}$ ) et RC-BIO popcorn ( $156 \text{ g.m}^{-2}$ ). ALIAGE maïs comporte une forte quantité d'adventices malgré un IFT à 3 et de nombreux travaux du sol. Le maïs RC a reçu la même dose de phyto que Ecophyto, avec, en plus, un désherbage mécanique et un couvert intermédiaire avant la culture. RC BIO comporte plus d'adventices, accentué par le fait que le maïs popcorn est une culture qui couvre peu. Le maïs ALIAGE a fait face à une forte pression adventice, surtout de ray-grass et de chardon, due aux SDC précédemment cultivés sur la parcelle. Le système précédent réduisait un peu le travail du sol, sans utilisation de glyphosate. Le couvert d'été comprenait du ray-grass, qui a été difficile à maîtriser par la suite.

Concernant les autres cultures, les céréales d'hiver sont moins confrontées aux adventices. On retrouve une biomasse faible pour le blé ALIAGE ( $0,5 \text{ g.m}^{-2}$ ), liée au fait qu'il s'agit de la première année d'implantation après des années de maïs ensilage. Le blé RC est à  $80 \text{ g.m}^{-2}$ , avec presque 100 % de chardons. Le mélange triticale/fèverole n'a reçu aucun herbicide, désherbage mécanique ou travail du sol, entraînant une forte biomasse adventice, majoritairement des dicotylédones. Enfin, les soja RC et ALIAGE ont été 2 cultures abondantes en adventices ( $74 \text{ g.m}^{-2}$  pour ALIAGE et  $124 \text{ g.m}^{-2}$  pour RC, comprenant : liseron des haies, picris fausse vipérine, lampourde, chardons des champs et sétaire glauque), impactant fortement les rendements. Enfin, le colza comporte  $70 \text{ g.m}^{-2}$  avec majoritairement du laiteron rude et de la picris.

### 3.4.3 Ratio rendement

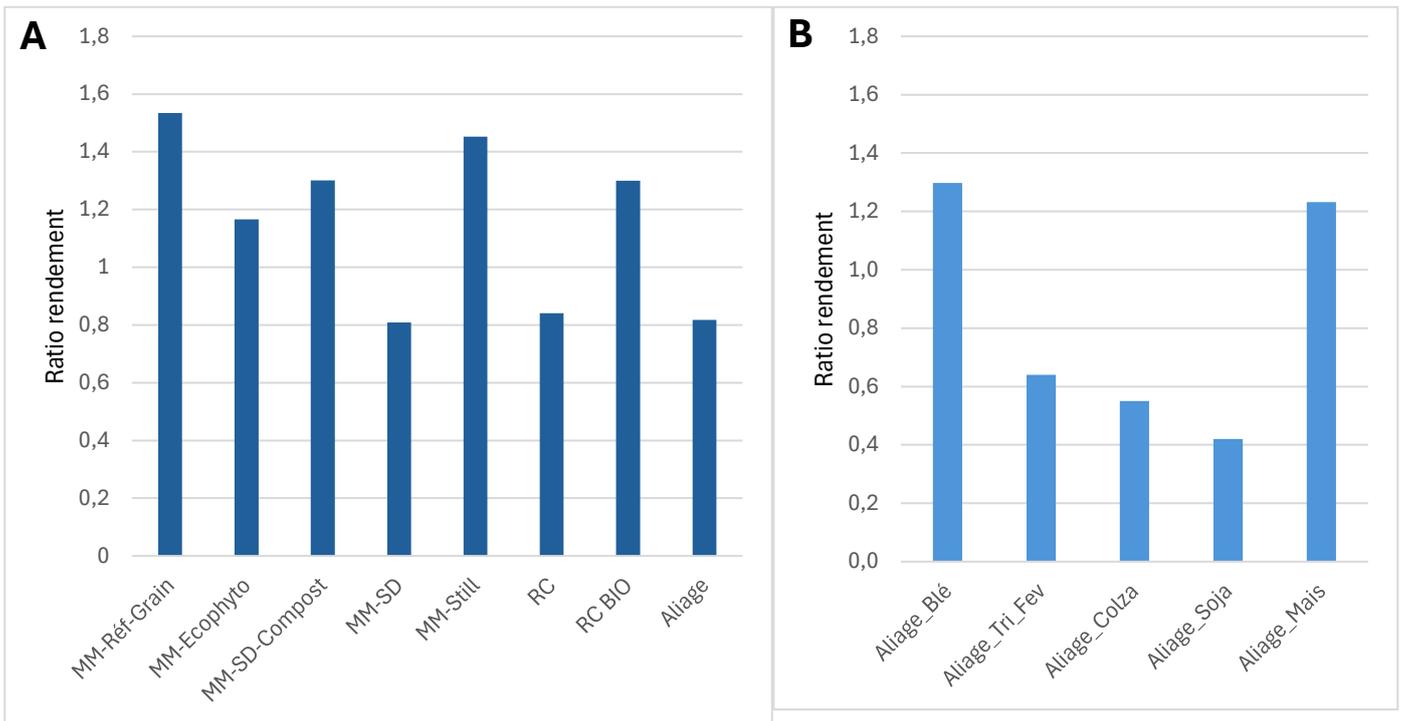


Figure 22 : Ratio rendement des SDC (A) et des cultures d'ALIAGE (B)

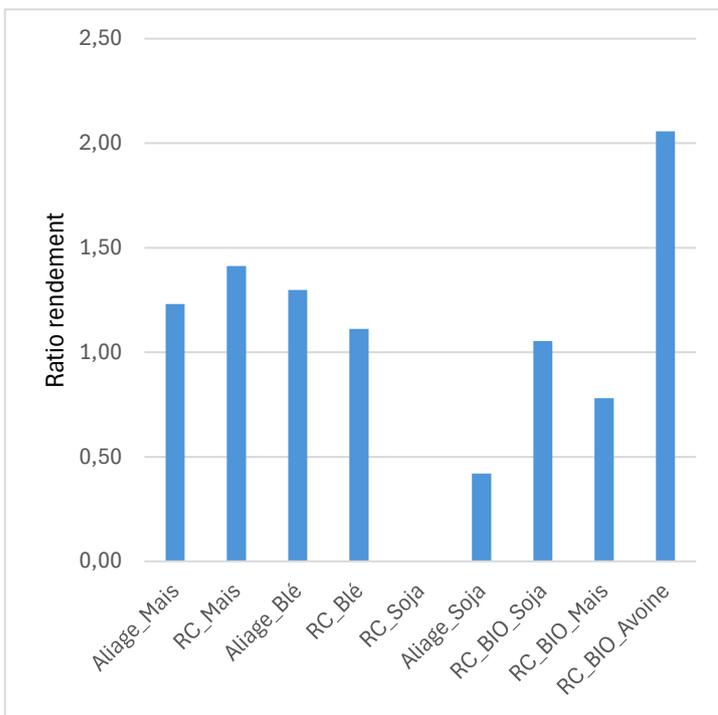


Figure 24 : Comparaison ratio rendement des cultures des rotations

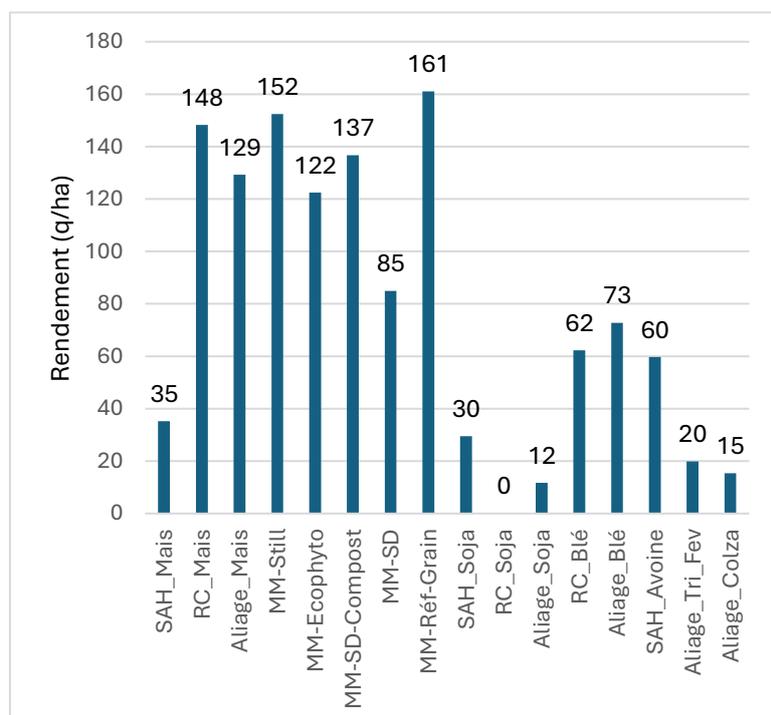


Figure 23 : Rendements des différentes cultures

Le rendement de maïs moyen pour la région Occitanie est mesuré à 105 q.ha<sup>-1</sup>.

MM-réf-grain est le SDC le plus performant, avec un ratio rendement de 1.5 (50 % plus élevé que la moyenne régionale), suivi de près par MM-Still 1.45. SD-compost (1.3) est 40 % plus élevée que SD, traduisant l'effet de l'apport important de matière organique. Ecophyto est lui aussi au-dessus de la moyenne régionale avec un ratio rendement de 1.16 (25 % de réduction par rapport à la référence). Outre SD, toutes les monocultures de la plateforme sont plus productrices que la moyenne régionale, malgré la campagne 2023-2024 censée être moins favorable au maïs. Les ratios rendements moyens des systèmes depuis leurs implantations ont été calculés par Clémence Braun (Braun, 2024). MM-réf-grain a un ratio rendement de 1.05, MM-Ecophyto 0.96, MM-Still 0.96, MM-SD 0.60, MM-SD-Compost 0.87 et RC total 0.76. La campagne 2023-2024 a été assez exceptionnelle pour les rendements de maïs.

Concernant les rotations, RC-BIO est la plus performante avec un ratio rendement de 1.23 notamment permis par le haut rendement de l'avoine (ratio de 2). Ce ratio montre l'efficacité du mode de gestion en agriculture biologique. Les deux autres rotations sont moins performantes avec un ratio inférieur à 1. La performance de RC est largement impactée par le soja, broyé à cause de la trop faible quantité de grains (rendement de 0). Sans le soja, la rotation RC se situe plutôt à un ratio de 1.3. Le soja RC-BIO, plus performant, se différencie du conventionnel par une variété plus précoce ainsi qu'un labour chaque année. Le soja RC ne sera pas reconduit.

La faible performance d'ALIAGE s'explique par 3 cultures : soja (0.42), triticale/féverole (0.64) et colza (0.55). Le rendement du colza s'explique notamment par l'hydromorphie de la parcelle : une partie de la culture s'est retrouvée sous l'eau. De plus, le couvert (trèfle/vesce) n'a pas gelé pendant l'hiver, créant une concurrence importante. Pour le mélange triticale/féverole, l'hydromorphie de la parcelle à cause des rendements faibles (8.3 q.ha<sup>-1</sup> de féverole et 11.5 q.ha<sup>-1</sup> de triticale). Il est compliqué de trouver des valeurs moyennes de ce mélange, dans la même proportion, dans la littérature, la valeur est difficilement exploitable. Enfin, le soja conventionnel est la culture la moins performante de la plateforme, pour ALIAGE et RC, la pression des insectes (comme les punaises) est très importante. Une variété plus précoce, au même titre que RC-BIO, sera semée pour ALIAGE en 2024/2025.

Le maïs et le blé sont deux cultures qui ont fonctionné cette année. Le rendement du blé est assez exceptionnel, profitant du SDC précédent (maïs ensilage avec une forte dose de lisier) et de l'absence d'adventice (première année avec du blé pour cette parcelle).

Les ratios rendements ALIAGE sont relativement faibles, impactés par les rendements du soja, du colza et du mélange triticale/féverole.

### 3.5 Economique

#### 3.5.1 Charges de mécanisation

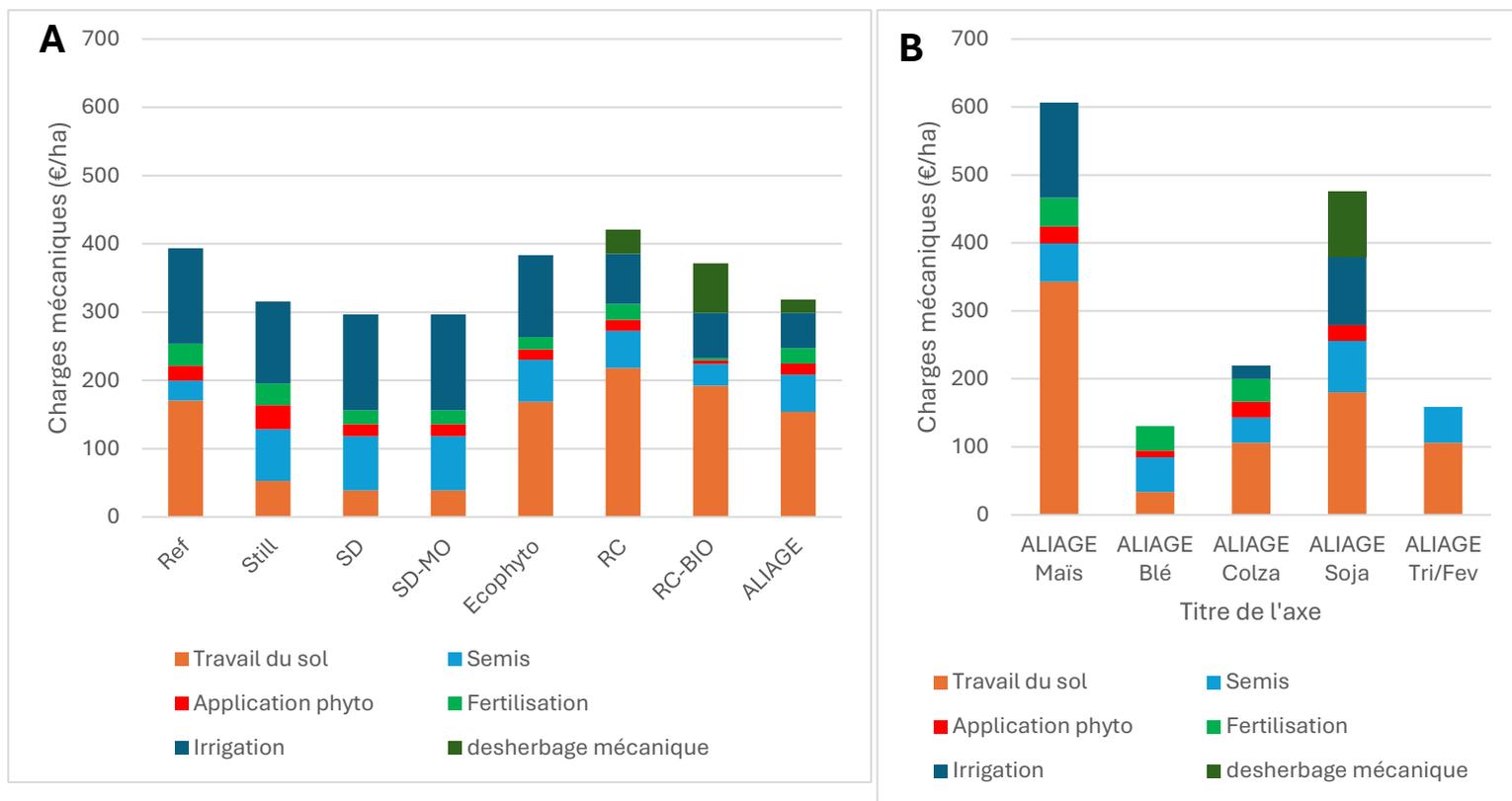


Figure 26 : Composition des charges mécaniques des SDC (A) et des cultures d'ALIAGE (B)

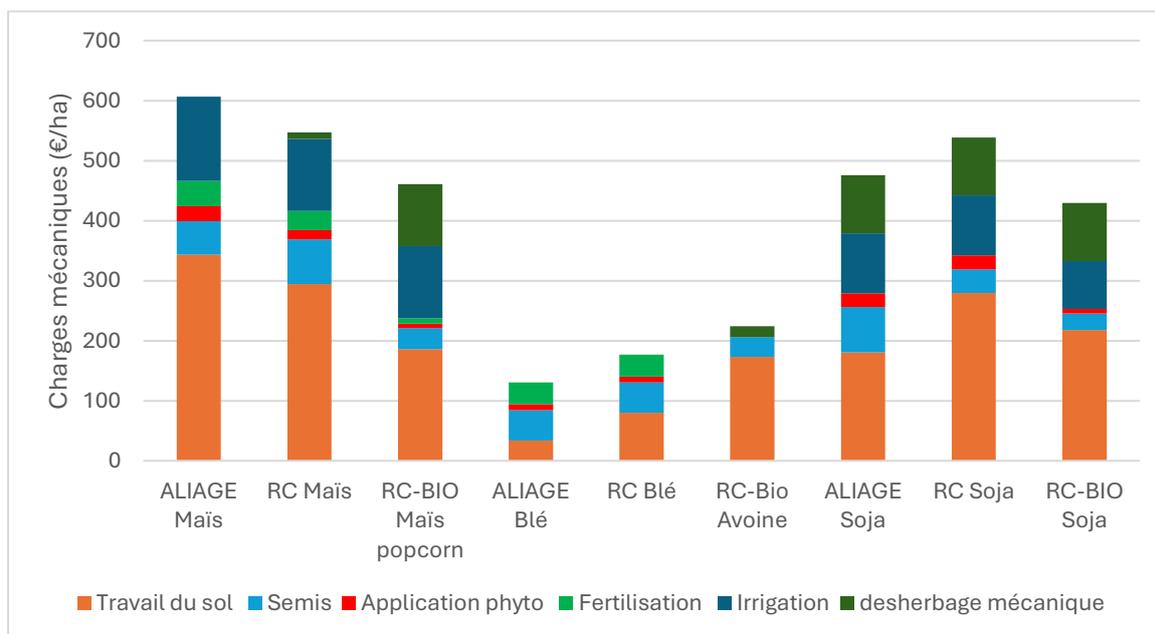


Figure 25 : Composition des charges mécaniques des rotations

Les charges mécaniques prennent en compte le coût de toutes les interventions sur la parcelle (utilisation des tracteurs, des outils et le carburant). Cet indicateur est corrélé au temps de travail sur la parcelle. Ces charges sont divisées en 6 catégories (semis, irrigation, désherbage mécanique, fertilisation, application phyto et travail du sol). Les catégories entraînant le plus de charges mécaniques sont le travail du sol et l'irrigation.

MM-réf-grain est caractérisé par des charges mécaniques de 394 €/ha<sup>-1</sup>, Ecophyto est proche avec 383 €/ha<sup>-1</sup>. Ces deux SDC comprennent un labour. SD, SD-compost et Still sont équivalents avec environ 300 €/ha<sup>-1</sup>, soit 24 % de diminution par rapport à la référence. Ce sont les SDC les moins coûteux en mécanisation, grâce à la réduction du travail du sol par le semis-direct et le travail en strip-till. RC est le système ayant les charges mécaniques les plus élevées avec 424 €/ha<sup>-1</sup>, soit 8 % de plus que la référence, expliqué par le nombre plus important de travaux du sol et de désherbages mécaniques conduits sur le maïs et le soja. RC-BIO est similaire avec 371 €/ha<sup>-1</sup>.

ALIAGE, en ACS, possède des charges mécaniques de 321 €/ha<sup>-1</sup>, soit 18 % moins coûteuses que la référence, mais 7 % de plus que les autres systèmes en réduction du travail du sol (SD, SD-Compost et Still). Les charges d'irrigation sont diminuées, liées à la réduction de 70 % de l'irrigation à l'échelle de la rotation, mais les charges du travail du sol sont plus de 3 fois supérieures aux 3 monocultures dues au travail de décompaction lié à la première année d'implantation du système. La campagne 2023-2024 est caractérisée par l'impossibilité de suivre correctement l'itinéraire technique prévu ; par exemple, les semis-directs n'ont pas pu être faits. Ces charges de travail du sol sont attendues à la baisse dès la campagne prochaine et devraient s'approcher de celles de Still ou SD.

### 3.5.2 Charges opérationnelles

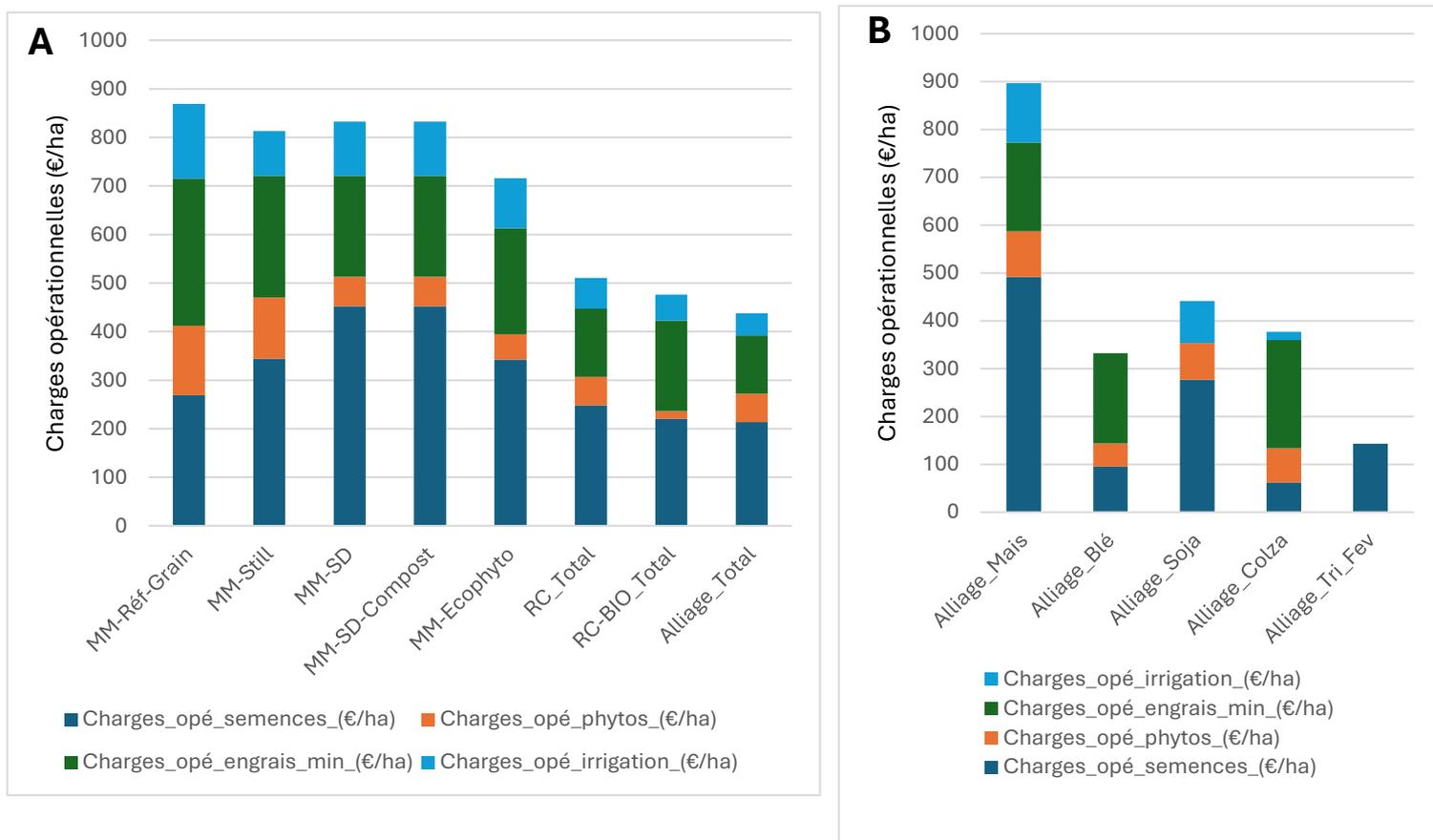


Figure 27 : Composition des charges opérationnelles des SDC (A) et des cultures d'ALIAGE (B)

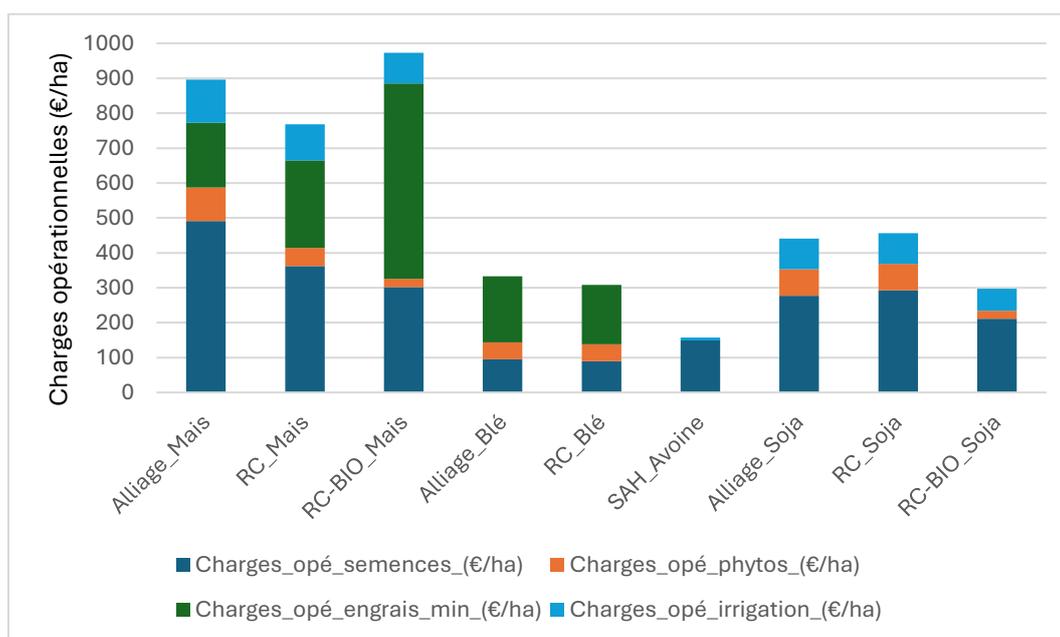


Figure 28 : Comparaison des charges opérationnelles des cultures des rotations

Les charges opérationnelles englobent le prix de tous les produits (phyto, engrais, semences, irrigation).

MM-réf-grain est le SDC le plus coûteux avec 869 €/ha<sup>-1</sup>, lié à l'utilisation importante d'intrants chimiques, nécessaire pour obtenir l'optimum économique. Les deux SDC en semis direct sont 5 % moins coûteux que la référence (832 €/ha<sup>-1</sup>). Le coût des semences est 70 % plus élevé que la référence en ajoutant les semences des cultures intermédiaires. Cette augmentation de charge est compensée par la diminution de l'apport d'engrais, d'eau d'irrigation et de produits phytosanitaires. MM-Still est légèrement plus faible avec 813 €/ha<sup>-1</sup>, suivi par MM-Ecopyto avec 769 €/ha<sup>-1</sup>. La différence entre ces deux systèmes vient surtout de la diminution de l'IFT et de la dose d'engrais pour Ecopyto.

Les 3 rotations de cultures montrent qu'un SDC en rotation permet de diminuer les charges opérationnelles. Pour RC-BIO, les charges phyto correspondent à l'achat de SLUXX, un molluscide utilisé en agriculture biologique, les charges engrais sont liées à une fertilisation organique un mois après le semis du maïs popcorn. Cet apport est important (800 kg/ha<sup>-1</sup>) et coûteux, c'est pourquoi le maïs popcorn bio est la culture la plus coûteuse de la plateforme. RC-BIO permet de diminuer de 45 % les charges opérationnelles par rapport à la référence. RC permet une diminution de 41 %, grâce à la réduction des intrants chimiques et de l'eau, ce qui résulte de l'implantation de cultures non irriguées et moins consommatrices d'intrants dans la rotation.

Le système ALIAGE permet une réduction de 50 % des charges opérationnelles, liée à la réduction d'engrais minéral, d'irrigation, de produits phytosanitaires, comme vu dans les parties précédentes.

### 3.5.3 Marge semi-nette

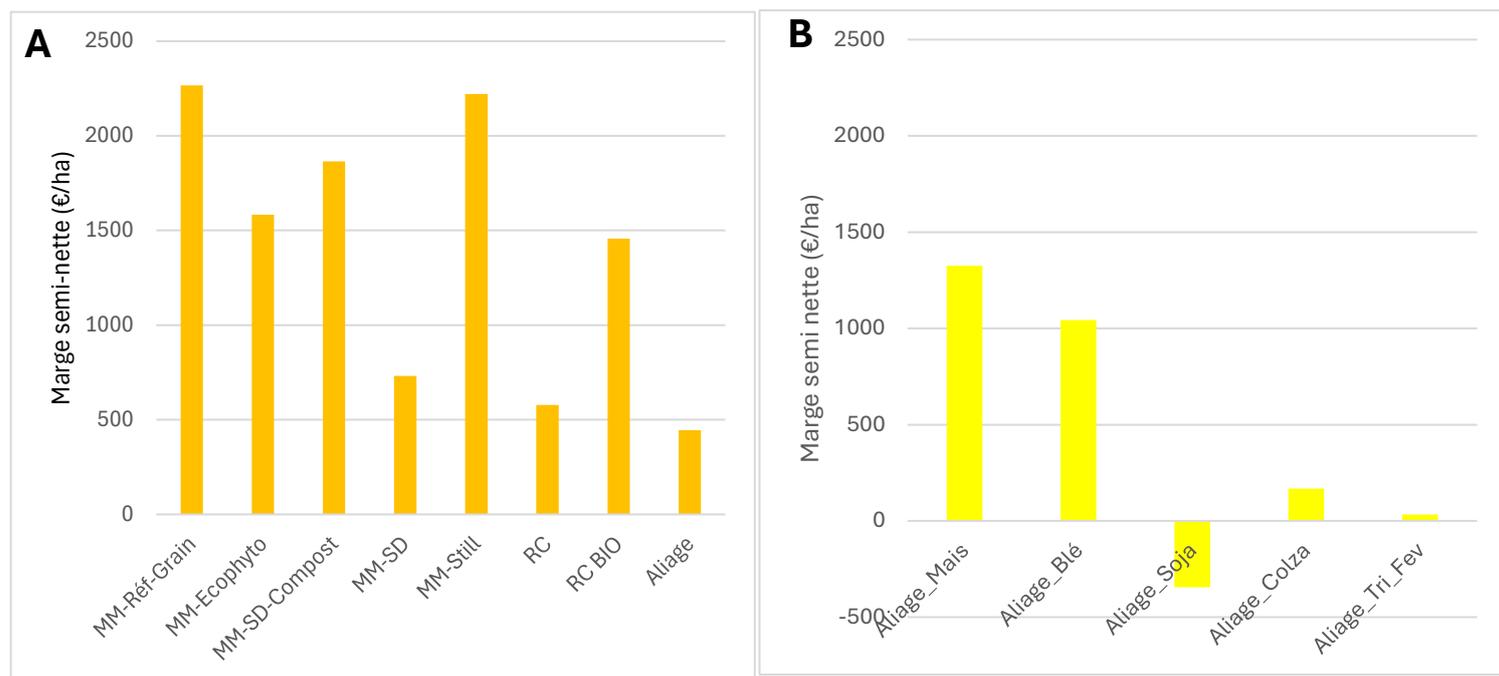


Figure 29 : Marge semi-nette des SDC (A) et des cultures d'ALIAGE (B)

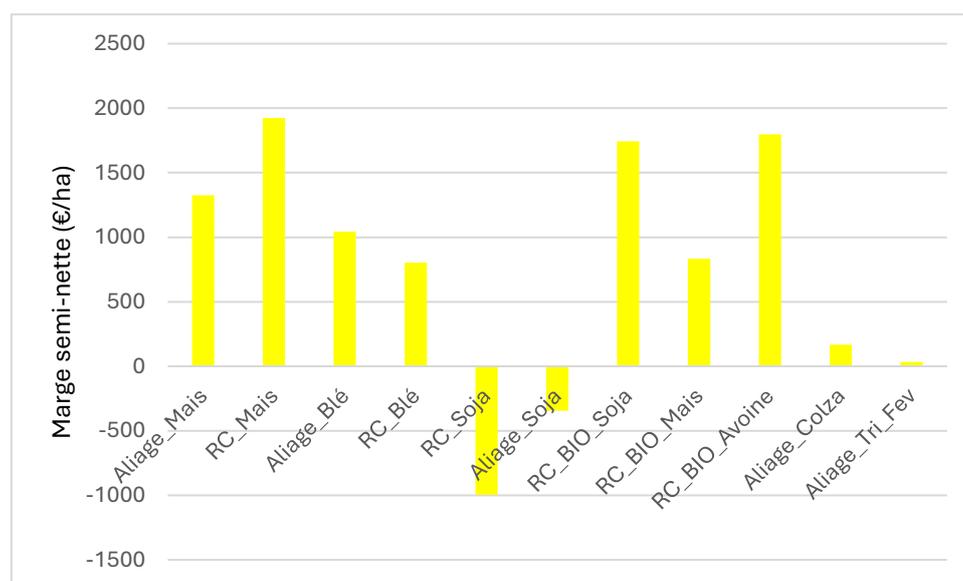


Figure 30 : Comparaison marge semi-nette des cultures des rotations

MM-ref et MM-still sont les deux SDC les plus performants, avec environ 2200 €/ha<sup>-1</sup>. Ces SDC sont assez proches dans l'utilisation d'intrants, la différence vient du travail du sol. La baisse de rendement de Still se compense par les charges de mécanisation plus faibles, donnant une marge semi-nette similaire à la référence. SD-compost se distingue nettement de SD, avec une marge semi-nette 60 % plus élevée. Une variation importante, provenant de meilleurs rendements suite à l'apport de matière organique et à une meilleure maîtrise de la flore adventice.

RC-BIO et Ecophyto sont assez proches avec environ 1500 €.ha<sup>-1</sup> de marge semi-nette, soit - 30 % par rapport au conventionnel. Cette valeur reste tout de même élevée. Cette haute marge de RC-BIO s'explique par le prix des récoltes bio ainsi que les rendements élevés obtenus cette année (comme vu précédemment).

Enfin, les autres SDC en rotation se caractérisent par des marges faibles, ALIAGE ayant la marge semi-nette la plus basse (440 €.ha<sup>-1</sup>) et RC légèrement plus haute (570 €.ha<sup>-1</sup>). Ce résultat faible s'explique en détaillant les marges de chaque culture principale de la rotation. Concernant RC, le soja est la culture responsable de cette valeur faible. Les gousses vides, suite à la pression des punaises, ont entraîné un broyage de la culture et donc un produit nul. La marge semi nette est négative (-1000 €.ha<sup>-1</sup>). Sans le soja, la marge semi-nette aurait été bien plus élevée, au vu des marges satisfaisantes du maïs (1900 €.ha<sup>-1</sup>) et du blé (800 €.ha<sup>-1</sup>).

Sur les 5 cultures d'ALIAGE, seulement 2 engendrent une bonne marge. La marge semi-nette du maïs est 40 % inférieure à la référence, ce qui en fait le maïs grain le moins rentable. Les charges mécaniques sont trop importantes, liées à la première année d'implantation et à la gestion des ray-grass et chardons. Avec un simple strip-till, comme prévu, les charges seront plus faibles et donc la marge semi-nette plus élevée, à condition de maintenir le rendement. Comme expliqué précédemment, le blé a pu profiter d'un bon précédent cultural, entraînant un fort rendement pour la région. Les 3 cultures restantes ne permettent pas de dégager une marge suffisante, le mélange triticale/féverole et le colza dégagent une marge faible, alors que le soja est en négatif.

Le colza est impacté par une forte hydromorphie, l'hiver pluvieux ayant engendré une hydromorphie marquée. L'hiver plus chaud que la normale a permis au couvert de persister, entraînant une compétition supplémentaire pour les ressources. Enfin, sans insecticide, la pression de certains ravageurs est importante. Cependant, il y a un potentiel d'amélioration sur cette culture en reconcevant l'ITK, en jouant sur le travail du sol et les variétés. Un passage de strip-till en plus du déchaumage permettrait de travailler le sol du futur rang plus en profondeur, permettant un meilleur développement du colza. Un mélange de variétés avec des précocités différentes permettrait d'allonger la période de floraison et ainsi d'éviter qu'un aléa impacte toute la parcelle. Avec ce mélange, certaines variétés vont plus ou moins être performantes chaque année, ce qui assure un rendement plus stable.

Le soja est une culture à forte marge, mais son implantation semble compliquée sur la station depuis plusieurs années. Seul le soja bio, plus précoce, avec un labour et un faux-semis, arrive à dégager une marge satisfaisante. Pour la campagne 2024-2025, une dernière chance est donnée à cette culture avec une variété plus précoce comme celle de RC-BIO pour le soja ALIAGE.

Enfin, le mélange triticale/féverole est plutôt une culture à rôle agronomique. Elle permet d'apporter de l'azote au sol, de diminuer la pression adventice et de ravageurs ainsi que de diminuer la quantité d'intrants à l'échelle de la rotation.

## 4 CONCLUSION

Tableau 1 : Tableau récapitulatif des taux d'évolution des SDC pour chaque indicateur:

\*Pour le drainage et la biomasse adventice seulement les cultures de maïs sont prites en compte pour RC, RC-BIO et ALIAGE

\*\*valeurs et non taux d'évolution pour MM-réf-grain

Indicateurs (taux d'évolution par rapport à MM-Réf-grain)	MM-Réf-Grain**	MM-Ecophyto	MM-Still	MM-SD	MM-SD-Compost	RC	RC-BIO	Aliage
Dose N minéral (%)	215	-37	-23	-41	-41	-56	-100	-63
Dose P (%)	61	0	0	0	0	-67	-100	-80
Dose irrigation (%)	220	-33	-40	-27	-27	-59	-66	-70
IFT Total (%)	4.0	-67	-20	-33	-33	-67	-100	-62
Emissions GES (%)	3582	-31	-21	-42	-36	-49	-81	-55
Durée d'intervention sur la parcelle (%)	5.8	2	-53	-49	-45	9	11	-28
Drainage* (%) (Maïs)	45	19	-21	-82	-16	-39	45	-36
Biomasse adventice* (%) (Maïs)	6	1367	633	1483	1317	183	2500	2400
Ratio rendement (%)	1.5	-24	-5	-47	-15	-45	-20	-47
Charges opé (%)	869	-18	-6	-4	-4	-41	-45	-49
Charges méca totales (%)	394	-3	-20	-25	-25	7	-6	-19
Marge semie nette (%)	2266	-30	-2	-68	-18	-75	-36	-80

Tableau 2 : Tableau récapitulatif des cultures d'ALIAGE pour chaque indicateur

Culture d'ALIAGE	Maïs	Soja	Colza	Blé	Triticale / FEVEROLE
Dose N minéral (kg/ha)	130	1	138	129	0
Dose P (kg/ha)	39	0	23	0	0
Dose irrigation (mm)	178	125	25	0	0
IFT Total	2.97	0.50	2.00	2.10	0.00
Charges opé (€/ha)	902	441	383	332	143
Charges méca totales (€/ha)	606	476	220	131	159
Marge semie nette (€/ha)	1325	-345	168	1042	33
Durée d'intervention sur la parcelle (h/ha)	5.4	8.0	3.6	1.7	2.2
Ratio rendement	1.23	0.42	0.55	1.30	0.59
Emissions GES (kg CO2eq/ha)	3154	649	1801	2080	356
Drainage (mm)	29	N/A	N/A	N/A	N/A
Biomasse adventice (g/m <sup>2</sup> )	150	74	70	1	115

L'analyse multicritère des systèmes de cultures a permis de montrer que, pour la campagne 2023-2024, tous les SDC ont globalement atteint leurs objectifs de réduction de l'apport d'azote minéral, d'eau d'irrigation, de l'IFT et de l'émission de GES. Les performances des systèmes sont présentées dans le tableau 1

MM-Still est le seul SDC permettant de maintenir une rentabilité similaire à la référence (marge semi-nette 2 % plus faible). MM-SD-Compost se démarque de SD avec un rendement supérieur de 60 % lié au taux de MO dans le sol de 5 % contre 2 % pour SD. MM-Still et SD-Compost sont les deux SDC économiquement viables, mais ils sont encore très dépendants des herbicides pour la gestion des adventices (MM-Still utilise même plus d'herbicide que la référence, notamment du glyphosate).

Cette analyse montre que la diversification culturale permet d'améliorer considérablement la performance environnementale des SDC, grâce à l'implantation de cultures d'hiver et de légumineuses, réduisant l'apport d'intrants à l'échelle de la rotation. Cependant, les performances de productivité agronomique et de rentabilité économique sont en dessous de la référence pour les rotations (ALIAGE et RC). Sur ces SDC, la diminution des charges opérationnelles ne compense pas les pertes de rendement qui engendrent des marges plus faibles pour certains termes de la rotation. RC est négativement impacté par le soja, la culture a dû être broyée cette année et ne sera pas reconduite l'année prochaine.

RC-BIO est la rotation la plus satisfaisante, avec une marge semi-nette 35 % plus faible que la référence. Il s'agit du système avec l'impact environnemental le plus faible. La perte de rendement est compensée par le prix des produits BIO. L'avoine est la culture la plus rentable, et le soja bio est le seul soja viable sur la plateforme.

ALIAGE est le système conventionnel qui permet la plus importante réduction des doses d'intrants et d'émissions de GES. Ce SDC est le plus diversifié, avec une rotation en 5 ans, l'implantation de 3 cultures d'hiver (colza, blé tendre et mélange triticale/féverole) en agriculture de conservation des sols. Le détail des performances de chaque culture est présent dans le tableau 2. ALIAGE possède la marge semi-nette la plus faible de la rotation. Trois cultures impactent négativement la performance du système. Le soja fait face à une pression en bioagresseurs (adventices et punaises). Les adventices sont en compétition directe et gênent son développement. Les punaises nuisent au remplissage des grains et impactent le rendement. Le soja bio, plus précoce et labouré, échappe à ces pressions. Un soja plus précoce sera en essai pour la campagne prochaine afin de tester ce facteur et possiblement éviter le pic des punaises. Le colza a été confronté à un problème d'inondation causé par l'hydromorphie de la parcelle. L'hiver chaud n'a pas détruit le couvert, entraînant une compétition avec la culture. Pour la campagne 2024-2025, un mélange de variétés ayant des précocités différentes va être implanté. La pression ravageur est importante pour le colza (altises) et le soja (punaises). La lutte contre ces ravageurs est complexe et ajouter un insecticide n'est pas dans la philosophie de réduction des produits phytosanitaires du projet ALIAGE.

Cette première campagne a nécessité de nombreux travaux du sol non prévus dans l'ITK conçu. Certains leviers, comme les semis-directs, n'ont pas pu être faits et la pression adventice a conduit à certaines interventions supplémentaires. Les charges mécaniques (liées à ces interventions) sont trop élevées pour un système en ACS. Ces charges vont significativement baisser, augmentant la marge semi-nette globale (à condition de ne pas diminuer en rendement).

Pour finir, l'effet de la rotation n'est pas encore mesurable. On peut imaginer que les performances agronomiques vont avoir tendance à augmenter avec le temps.

## Perspectives :

Le projet ALIAGE s'arrête en juin 2025. Néanmoins, cette expérimentation d'un SDC diversifié en agriculture de conservation des sols va se poursuivre dans le cadre du projet MAGECODIV (DEPHY-EXPE 3). Un atelier de co-conception aura pour objectif de reconcevoir ce SDC ALIAGE et d'améliorer ses performances. Ce travail servira de base à cet atelier, en faisant ressortir les points positifs et négatifs du SDC.

## BIBLIOGRAPHIE :

---

- Agence de l'eau Adour-Garonne** (2013) Qualité des eaux et phytosanitaires : Bilan 2013-2014. calameo.com, <https://www.calameo.com/agence-de-leau-adour-garonne/read/00022259200e1f4138765>
- Braun C** (2024) Evaluation des impacts de la diversification culturelle sur la multi-performance de systèmes de culture maïsicoles irrigués.
- CHEGUT, HARDY, LEBARBIER, MAROT, MARTIN, NICOLAÏ** (2018) Agreste Filière maïs grain Nouvelle-Aquitaine.
- DRAAF Occitanie** (2024) Novembre 2024. DRAAF Occ. Dir. Régionale Aliment. Agric. For., <https://draaf.occitanie.agriculture.gouv.fr/note-de-conjoncture-2024-no3-a9371.html>
- DRAAF Occitanie** (2024) Conjoncture mensuelle grandes cultures au 1er novembre 2024. DRAAF Occ. Dir. Régionale Aliment. Agric. For., <https://draaf.occitanie.agriculture.gouv.fr/conjoncture-mensuelle-grandes-cultures-au-1er-novembre-2024-a9352.html>
- Espagnol G** (2015) MONOCULTURE DE MAÏS : une pratique adaptée à certains contextes. *Perspect Agric N°426*: 53–55
- Giuliano S** (2023) Evaluation multicritère des performances de systèmes de culture maïsicoles alternatifs à la monoculture de maïs conventionnelle et à faible impact sur l'environnement. (Thèse de doctorat). Toulouse, France : Institut National Polytechnique. , 230 p.<https://theses.hal.science/tel-04214076>.
- Hermouet E** (2023) Évaluation multicritère de systèmes de grande culture en travail du sol réduit et sans glyphosate.
- Jean-Marc M, Charlier A, Charrier F, Fares M, Bail M, Magrini M-B, Messean A** (2013) La spécialisation à l'œuvre. *OCL* **20**: D402
- Recous S, Jeuffroy M-H, Hénault C, Bamière L** (2014) Réduire le recours aux engrais azotés de synthèse : quel potentiel et quel impact sur les émissions de N<sub>2</sub>O à l'échelle France ? *Innov Agron* **37**: 11–22

## Annexe :

---

Annexe 1 : Liste des participants à l'atelier de co-conception du 27 mars (Hermouet Edwige).

Les personnes en italique étaient dédiées à l'animation. À cette liste s'ajoutent 3 stagiaires de fin d'études et une alternante.

<b>Groupe 1 : Système 0 travail du sol avec maintien des IFTH et –50% sur les IFTHH</b>		<b>Groupe 2 : Système travail du sol réduit autorisé et –50% d'IFT par rapport au système de référence</b>	
Jean Dayde	Enseignant-chercheur et Directeur de la recherche (Purpan)	Élise Audouin	Compagnie d'Aménagement des Coteaux de Gascogne
Diego Diaz-de-Astarloa	Enseignant-chercheur en agronomie (Purpan)	Antoine Bedel	RAGT
Manon Libert	RAGT	Mickaël Cazeneuve	Technicien Campus de Lamothe
Christian Marre	Agriculteur	Nicolas Cestrières	Agriculteur
Hélène Martin	Technicienne Campus de Lamothe	Flore Delsarte	Pioneer
Fanny Vuillemin	Terres Inovia	Mélanie Lobietti	Chambre Régionale d'Agriculture Occitanie
Gervais Wallois	Chef de l'exploitation du Campus de Lamothe	Marie-Hélène Robin	Enseignante-chercheuse en agronomie (Purpan)
<i>Simon Giuliano</i>	<i>Enseignant-chercheur en agronomie (Purpan)</i>	Alain Rodriguez	ACTA les instituts techniques agricoles
		<i>Valentin Deremetz</i>	<i>Ingénieur de recherche en agronomie (Purpan)</i>
		<i>Edwige Hermouet</i>	<i>Stagiaire de fin d'études</i>