

PLATEFORME PÉDAGOGIQUE ET DÉMONSTRATIVE SUR LA FERTILITÉ DES SOLS (ENSEIGNEMENTS 2016-2019 +) RÉSULTATS CAMPAGNES 2020, 2021 ET DÉBUT 2022

Projet

Ce dispositif expérimental s'inscrit dans le projet Ecophyto'TER ainsi que dans le cadre de l'appel à projets Expérimentations et Méthodes 2020 de France Agrimer, après s'être inscrit à l'origine dans le projet CASDAR « Transition agro-écologique des exploitations de l'enseignement agricole » et le projet « Cultiver autrement ! » issu de l'appel à projet Agence de l'Eau.

Ce dispositif expérimental s'inscrit également dans le réseau de plateformes labellisées ARTEMIS.

Site

Vesoul Agrocampus -Exploitation agricole
Route de Bougnon, 70170 Port-sur-Saône

Durée de l'essai : 2019-2022

(Suite de la première partie de l'essai 2015-2019)

Type de système : Polycultures – élevage

1 – Origine de l'expérimentation

Une plateforme pédagogique et démonstrative a été mise en place en 2015 sur le site de l'exploitation agricole de Vesoul Agrocampus à Port-sur-Saône pour étudier les impacts de différents systèmes de culture sur les trois piliers de la fertilité du sol (physique, biologique et chimique).

De nombreuses études existent, évaluant les impacts de différentes techniques de travail, et non-travail, du sol sur sa fertilité, mais elles conduisent à une grande variabilité de données, qui peuvent être contradictoires étant donné l'influence du type de sol, du climat, ... Il est donc apparu indispensable d'acquérir des références localement, dans un contexte pédoclimatique particulier, qui pourront être transposées à l'échelle d'une petite région agricole.

La question du travail du sol et de la gestion des adventices étant au cœur des différents systèmes de culture testés, leurs performances environnementales (IFT) et économiques (notamment charges de mécanisation) doivent être quantifiées.

2 – Objectifs de l'expérimentation

- Acquérir des références localement concernant les impacts de cinq systèmes de culture sur les trois piliers de la fertilité du sol (physique, biologique et chimique)
- Étudier les performances agronomiques (rendements), économiques (marges) et environnementales (IFT) de ces systèmes
- Diffuser les résultats au près de la profession agricole et valoriser pédagogiquement la plateforme au travers des enseignements

3 – Contextes pédo-climatique, socio-économique, biotique

Situation géographique	Haute Saône (à 12 km de Vesoul)
Climat	Semi-continental dégradé (848 mm/an) T° moyenne : 11,6 °C
Texture de sol	Limono-sableuse
Indice de battance	1,7
Potentiel de rendement	Colza : 30 à 35 q/ha Blé : 60 à 70 q/ha Orge : 60 à 70 q/ha Maïs : 85 à 95 q/ha Soja : 20 à 25 q/ha
Irrigation	Non irrigué
Bioagresseurs fréquents	
Adventices	Très présentes : chénopode blanc, panic pied de coq, liseron, chardon, rumex Plus ou moins présentes : ray-grass, brome, gaillet, coquelicot, véronique, matricaire, géranium renouée, mouron des oiseaux, vesce
Maladies	Risques sur céréales : rhinchosporiose, septoriose et rouilles Risques sur colza : slérotinia.
Ravageurs	Pression limace faible Risques sur céréales : pucerons, cicadelle Risques sur colza : charançons, altises et méligèthes.

Pour plus de détail, cf. **Annexe 1**.

Contexte de l'exploitation qui met en œuvre l'expérimentation

Vesoul Agrocampus (anciennement EPLEFPA Vesoul) est un établissement de formations (par voie scolaire, apprentissage et pour adultes). Les principaux thèmes enseignés sont : l'enseignement général, les agroéquipements et la maintenance de matériels, les productions agricoles, les services aux personnes et aux territoires, l'aménagement et les travaux paysagers, ainsi que l'apiculture.

L'exploitation est de type polyculture-élevage diversifiée :

- Main d'œuvre : 4 salariés de droit privé – 4ETP
- SAU : 248 ha de surface agricole utile dont 154 ha en prairies, le reste en grandes cultures (blé tendre d'hiver, colza, maïs grain, orge d'hiver, tournesol, luzerne, silphie, pommes de terre)
- Cheptel : 57 vaches Montbéliardes produisant 407 000 L de lait IGP Gruyère - 180 brebis Blanches du Massif Central - 300 ruches pour la production de miel plus un rucher pédagogique.
- Partenaires : CUMA, Chambres d'agriculture, entrepreneurs du territoire, INRAE, Agronov, coopératives, entreprises privées etc..
- Des prestations de service sur le territoire.
- Des expérimentations pluriannuelles et multi-partenariales.

Enjeux locaux et socio-économiques

Les exploitations de Haute-Saône sont essentiellement de type polyculture-élevage avec sur une partie du département, la zone du Graylois, une orientation davantage céréalière. Les débouchés reposent sur une coopérative agricole et quelques entreprises privées. Les principales cultures sont : blé, colza, maïs, orge, tournesol et soja.

4 – Dispositif expérimental

Année de début d'expérimentation : 2016 (1^{ère} récolte)

Durée prévue : *a minima* deux rotations, soit 10 ans

Type de dispositif

Les cinq systèmes de culture sont expérimentés sur une parcelle de l'exploitation, de 3 ha.

La surface affectée à chaque système (0,5 ha) est plutôt faible. Il est à noter que les systèmes sont testés sur des bandes de largeur faible (24m).

Pour plus de détail, cf. **Annexe 2**.

Il n'y a pas de système de référence : les cinq systèmes sont testés sans a priori sur les performances à attendre de chacun d'eux : il ne s'agit pas de mettre en évidence l'efficacité de l'un par rapport à l'autre. L'expérimentation vise donc l'évaluation de tous les systèmes au travers des mêmes critères et les mêmes attentes sont fixées pour chacun d'eux.

Organismes impliqués

Chambre d'agriculture de Haute-Saône

Chambre régionale d'agriculture de Bourgogne Franche-Comté

Réseau ARTEMIS

5 – Objectifs assignés aux systèmes testés et attentes

Les cinq systèmes sont testés sans a priori sur les performances à attendre de chacun d'eux : il ne s'agit pas de mettre en évidence l'efficacité de l'un par rapport à l'autre. L'expérimentation vise donc l'évaluation de tous les systèmes au travers des mêmes critères et les mêmes attentes sont fixées pour chacun d'eux.

Les attentes sont définies en terme de seuil minimum à atteindre pour valider la durabilité du système. Au-delà de ces attentes de base, l'expérimentation vise à identifier quel système atteindra des performances supérieures aux autres.

Objectifs

- Disposer d'un système préservant la fertilité du sol tout en atteignant des performances économiques correctes.
- Maîtriser la flore adventice sans dégradation de la situation initiale

Attentes du pilote sur l'ensemble de la rotation

- Marge semi-nette > 300 €/ha
- IFT herbicide < à la référence régionale

Attentes du responsable de l'expérimentation

- Fertilité physique du sol : densité apparente correcte ≤ 1,5 g/cm³
- Fertilité biologique : nombre de vers de terre > 50 / m²

Indicateurs suivis

Les indicateurs de suivi mis en œuvre sont les suivants :

- indicateurs de suivi de la fertilité physique : mesure de densité apparente, profil cultural (à chaque campagne) ;
- indicateurs de suivi de la fertilité chimique : analyse de terre (paramètres physico-chimiques) (tous les deux ans) ;
- indicateurs de suivi de la fertilité biologique : comptage et caractérisation des vers de terre (à chaque campagne), mesure de la matière organique (carbone et azote total), fractionnement de la matière organique, biomasse microbienne (tous les trois ans) ;
- indicateurs de suivi des performances agronomiques : rendement, composantes du rendement, suivi des adventices et autres bioagresseurs (à chaque campagne) ;
- indicateurs de suivi des performances économiques : charges opérationnelles, charges de mécanisation et de main d'œuvre, marges (à chaque campagne) ;
- indicateurs de suivi des performances environnementales : IFT (à chaque campagne).

Dans la suite du document, les évolutions de la plateforme, mises en œuvre à partir de 2020, figurent en bleu

6 – Grands traits des systèmes de culture

La rotation¹ pratiquée est la même sur l'ensemble de la plateforme, une seule culture étant présente par campagne : colza, blé, orge, maïs, soja, blé (1^{ère} récolte : colza en 2016, campagne en cours : maïs 2022).

Système	Traits communs aux cinq systèmes testés
Rotation	Ancienne rotation : Colza (2016) – Blé – Orge – Maïs grain – Soja – Blé (2021) Nouvelle rotation : Colza – Blé (2021) - Maïs grain (2022) – Tournesol - Orge
Stratégies principales	<u>Système avec une alternance de cultures d'hiver et de printemps et une alternance de familles (Brassicacées, Poacées, Fabacées) pour rompre le cycle des bioagresseurs (adventices, maladies et ravageurs).</u>

¹ Cette rotation permet de tester un panel de cultures plus ou moins sensibles aux techniques de travail du sol employées.

	<p>Rotation longue avec implantation de couverts sur les intercultures longues. Le travail du sol en interculture dépend du système de culture.</p> <p><u>Gestion des adventices basée sur</u> l'alternance des cultures d'hiver et de printemps, les couverts sur les intercultures longues et la lutte chimique à dose réduite en fonction des observations au champ.</p> <p><u>Gestion du statut organique basée sur</u> un apport régulier de compost de fumier de bovins lait (tous les 3 ans) et sur l'incorporation des résidus du précédent par le labour. Exportation des pailles de céréales.</p> <p><u>Gestion des maladies basée sur</u> le contrôle cultural (choix variétal, broyage des cannes de maïs) et la lutte chimique à dose réduite.</p> <p><u>Pas de lutte chimique contre les ravageurs</u>, lutte biologique (trichogramme) sur maïs.</p>
Colza	Mélange de variétés dont une à floraison très précoce pour limiter les dégâts de méligèthes sur la variété principale. Semis avancé au 21/08 dans l'objectif d'avoir des colzas vigoureux et plus résistants. Association avec des plantes compagnes. Impasse de lutte chimique contre les ravageurs (charançon du bourgeon terminal, de la tige, grosse altise, méligèthes). Fongicides sclerotinia et oïdium.
Blé	Variété peu sensible à la rouille jaune et à la verse, lutte chimique contre la septoriose.
Orge	Variété peu sensible à la rynchosporiose, lutte chimique contre l'helminthosporiose.
Maïs	Semis précoce avec des variétés adaptées localement. Lutte biologique (trichogramme) systématique. Pas de fongicides. Désherbage mécanique avec passages de bineuse.
Couverts intermédiaires	Implanté sur les intercultures longues : - mélange multi-espèces entre le blé et le maïs, - triticale entre le maïs et le soja.

L'itinéraire technique des systèmes testés est identique sur les points suivants :

- semis : même date de semis et même culture (même variété ou mélange de variétés)
- programmes de fertilisation identiques
- même programme de traitements hors herbicides
- couvert d'interculture longue pour tous les systèmes.

Les différences entre systèmes sont résumées dans le tableau suivant :

Jusqu'en 2019 inclus :

	S1	S2	S3	S4	S5
Type de travail du sol annuel	Labour	TCS	TCS	Strip-till	Semis direct
Profondeur de travail du sol (en cm)	20-25	~ 10	~ 10	~ 20 ^a	-
Couvert d'interculture courte	non	non	oui	(*)	(*)
Densité de semis augmentée	non	non	non	oui	oui
Programme herbicide adapté aux adventices présentes et à leur densité					

^a Sur le rang travaillé uniquement, pas de travail du sol sur l'interrang

(*) Repousses du précédent

Il est à noter, concernant le système S5, qu'il ne s'agit pas d'un semis direct « sous couvert » : les repousses du précédent et les couverts d'intercultures longues assurent une couverture végétale sur une part importante de la rotation mais aucun couvert pérenne n'a été mis en place sur la bande. Concernant le système S4, les céréales d'hiver ne sont pas implantées en strip-till mais en semis direct. Quant à la mise en place d'un couvert d'interculture courte sur le système S3, elle n'a été effective qu'une seule fois, lors de la campagne de blé récolté en 2017.

A compter de la campagne 2020 incluse, l'implantation dans le système S4 se fait en semis direct pour toutes les cultures et la mise en place d'un couvert d'interculture courte pour le système S3 est officiellement abandonnée :

	S1	S2	S3	S4	S5
Type de travail du sol annuel	Labour	TCS	TCS	Semis direct	Semis direct
Profondeur de travail du sol (en cm)	20	<12	<12	-	-
Labour occasionnel	-	oui	non	non	non
Couvert d'interculture longue	oui	oui	oui	oui	oui
Couvert d'interculture courte	non	non	non	(*)	(*)
Densité de semis augmentée	non	non	non	oui	oui
Programme herbicide adapté aux adventices présentes et à leur densité	<i>Programme herbicide ajusté à chaque système, notamment recours au glyphosate variable d'un système à l'autre</i>				
Recours au glyphosate	possible				non

(*) Repousses du précédent

6 – Stratégie de gestion

Le schéma de gestion des adventices pour les systèmes 1 (labour) et 5 (semis direct) sont présentés en page suivante. L'ensemble des schémas de gestion des adventices des cinq systèmes testés figurent en annexes 3 et 3 bis (évolutions à partir de 2021 pour l'annexe 3 bis).

Le schéma de gestion des matières organiques, commun à tous les systèmes, est le suivant

- de 2016 à 2021 inclus :

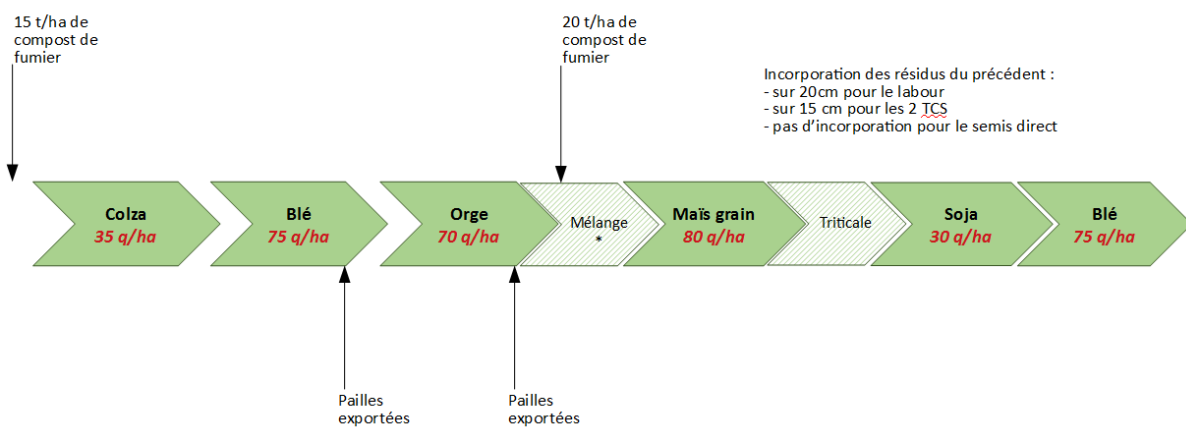


Schéma de gestion des matières organiques de 2016 à 2021

- à partir de 2022 inclus :

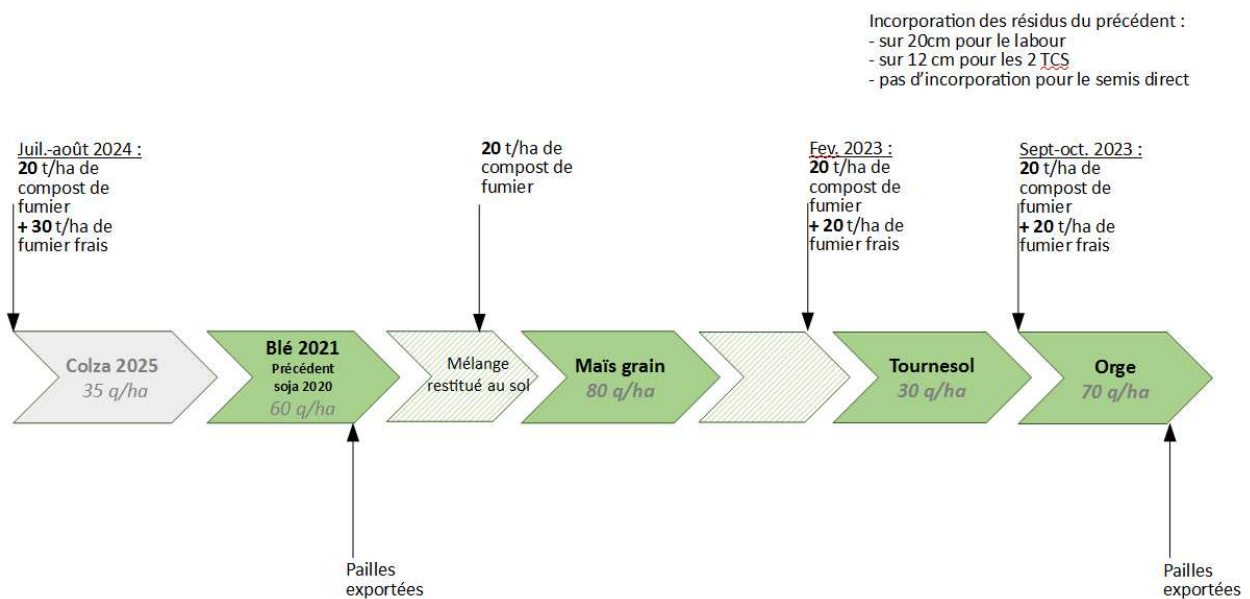


Schéma de gestion des matières organiques à partir de 2022 inclus

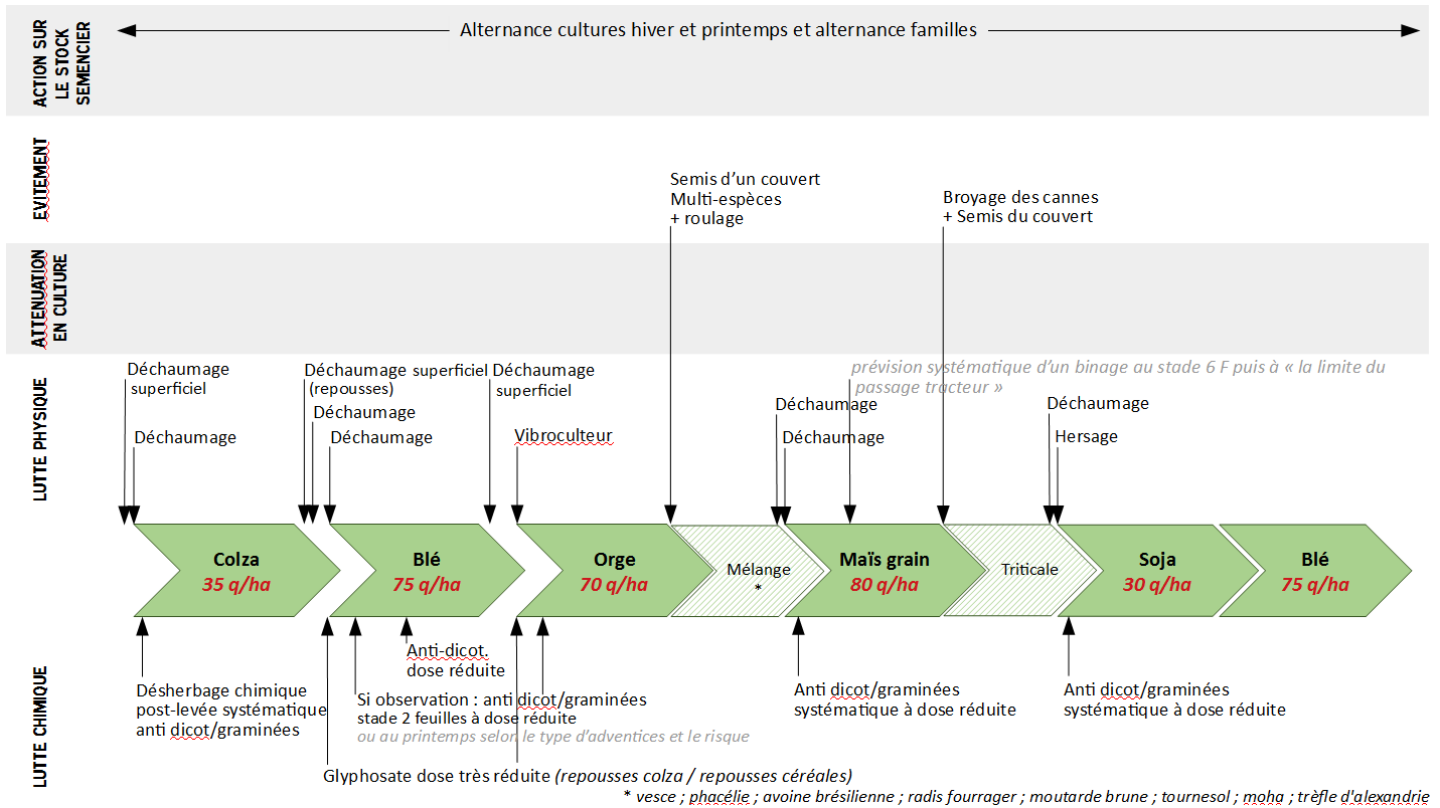


Schéma de gestion des adventices pour le système S2 (TCS) de 2016 à 2020

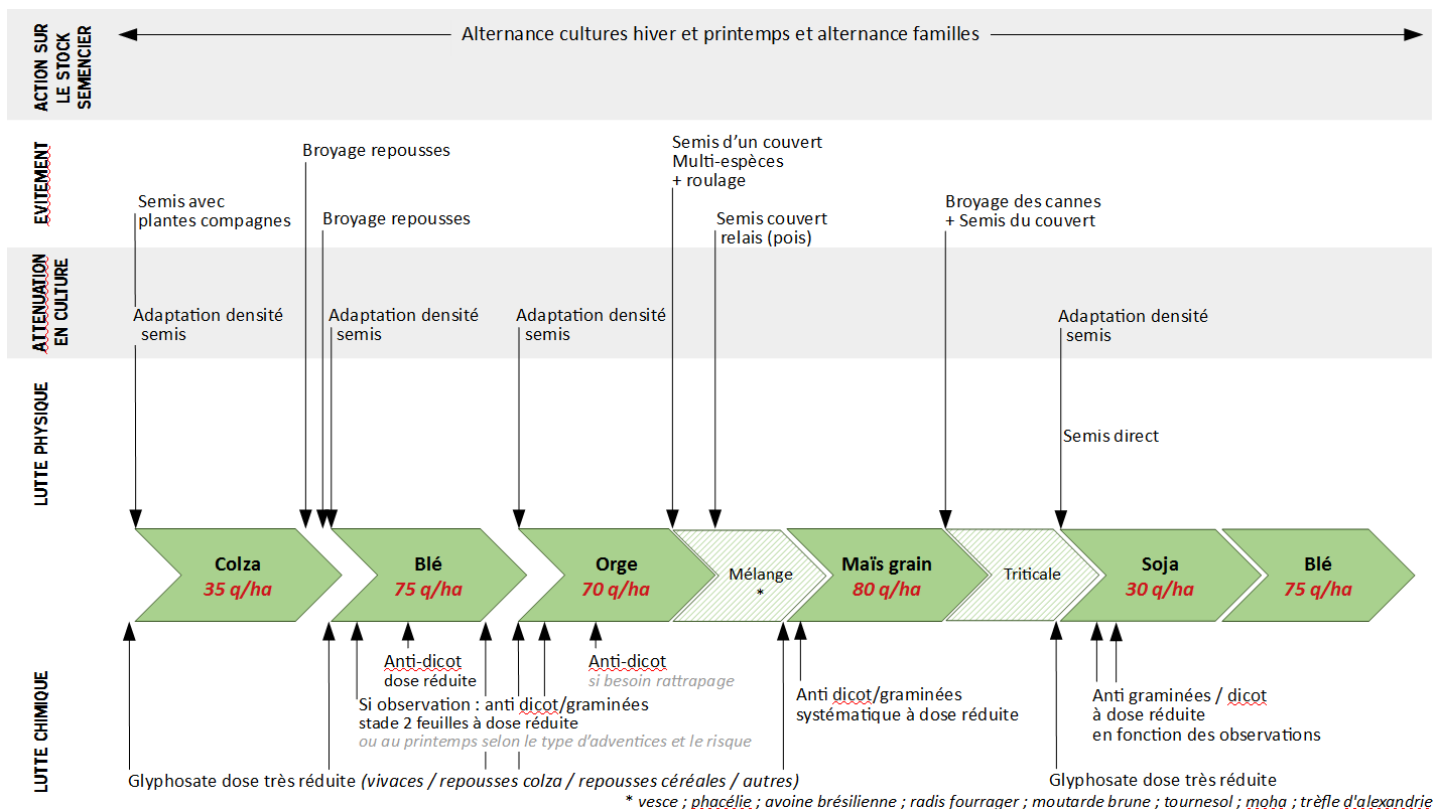


Schéma de gestion des adventices pour le système S5 (semis direct) de 2016 à 2020

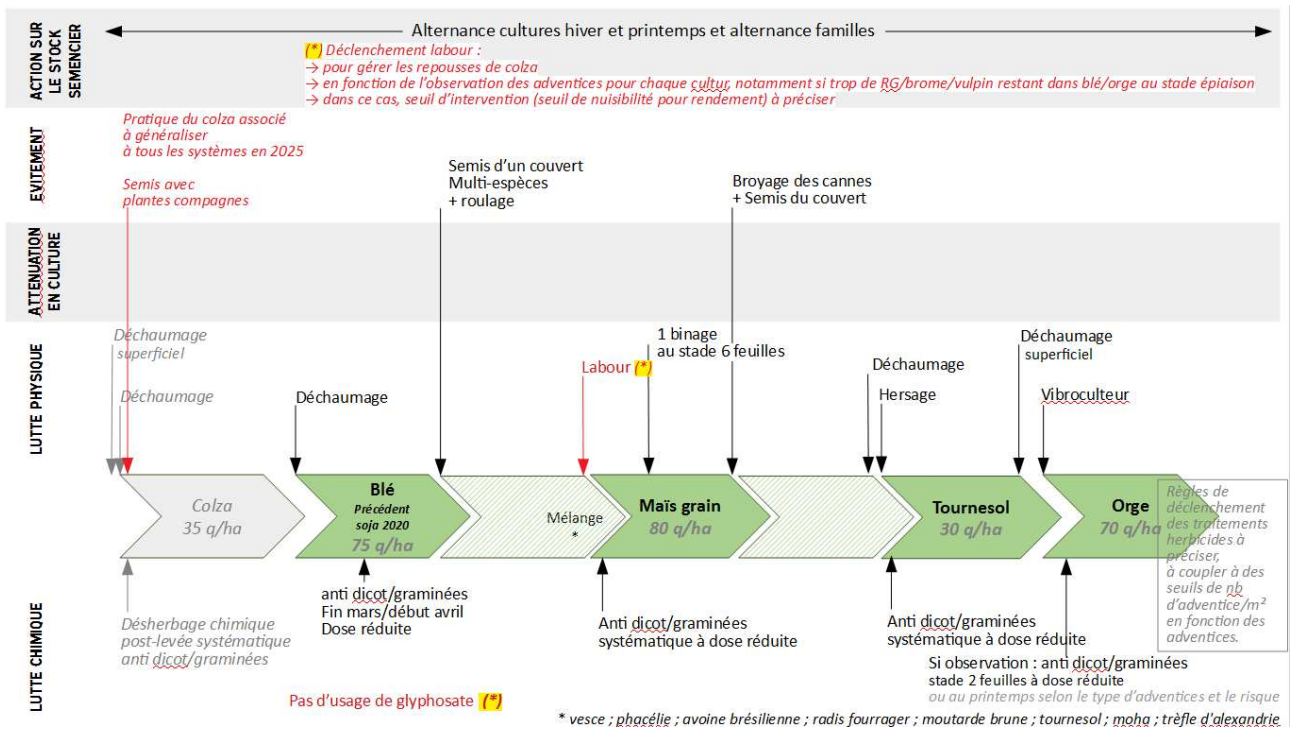


Schéma de gestion des adventices pour le système S2 (TCS) à partir de 2021 inclus

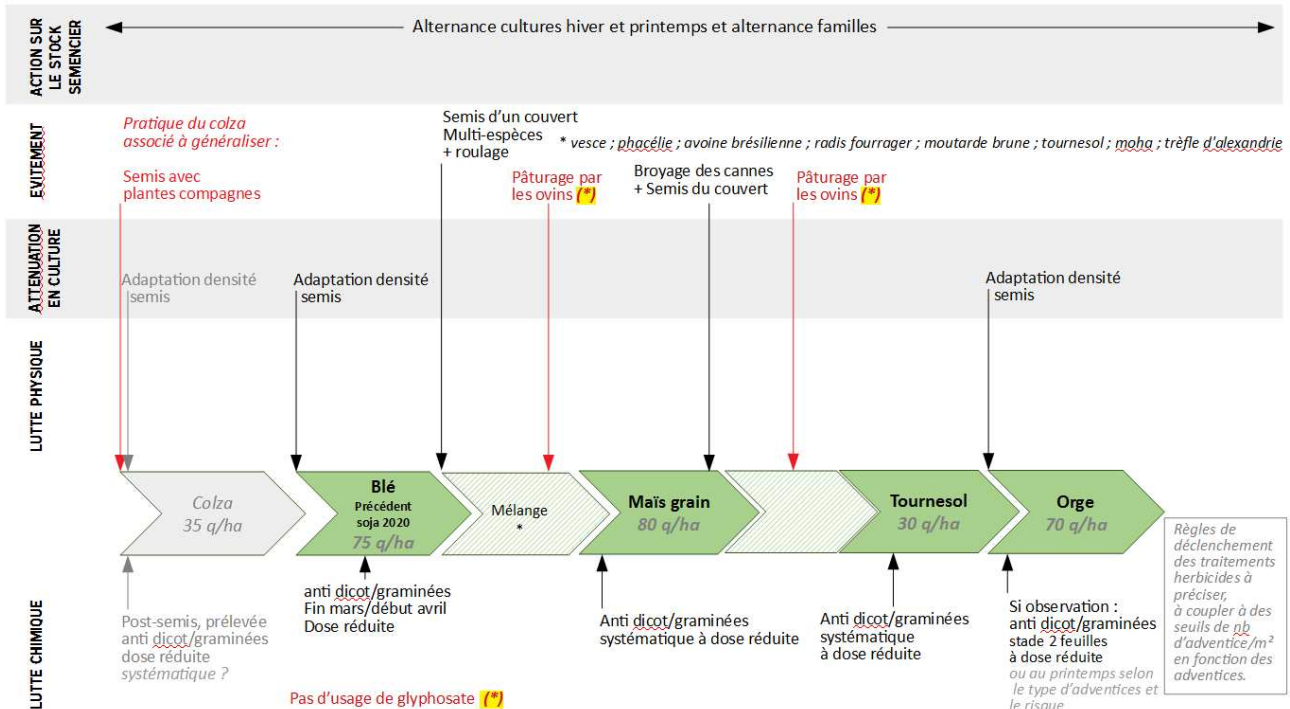


Schéma de gestion des adventices pour le système S5 (semis direct) à partir de 2021 inclus

7 – Système de culture pratiqué

Le détail des 5 systèmes de culture pratiqués figure en annexe.

8 – Résultats et performances obtenues

Concernant les performances agronomiques, économiques et environnementales

Le détail des rendements, charges opérationnelles, charges de mécanisation et de main d'œuvre, marge semi nette, IFT total, IFT herbicides et IFT hors herbicides obtenus pour chaque système figure en **annexe 4**.

Le détail du suivi de la campagne soja 2020 figure en **annexe 5**.

Le détail du suivi de la campagne blé 2021 figure en **annexe 5 bis**.

Points forts et points faibles de chaque système :

Système S1	Ce qui a marché	Ce qui n'a pas marché
Rendement	Plus fort de tous les systèmes testés à la 1^{ère} récolte de l'essai en 2016 (colza) et meilleur rendement qu'en TCS lors de la campagne blé 2021	Un des plus faibles de tous les systèmes testés en 2019 (<i>maïs : épis plus petits</i>)
IFT Herbicide	Plus faible de tous les systèmes sur céréales d'hiver (<i>moins de graminées</i>) IFT inférieur à la référence régionale sur toutes les campagnes	
Charges de mécanisation²		Charges les plus fortes par rapport aux autres systèmes sur toutes les campagnes (sauf blé 2016-2017)
Marge semi-nette³		Une des marges les plus faibles (après le système S5) pour les campagnes orge 2018 et maïs 2019

Les principaux points forts et faibles du système S3 sont les mêmes que pour le système S2 :

- la maîtrise des **charges de mécanisation** et de main d'œuvre, associée à des **rendements supérieurs** aux autres systèmes, expliquent la meilleure performance économique de ces deux systèmes par rapport aux autres

² Ces charges incluent les coûts de tracteur, outil, carburant et main d'œuvre selon le barème d'entraide de chaque campagne.

³ Produit hors aides moins charges opérationnelles moins charges de mécanisation et de main d'œuvre

- mais la multiplication des opérations de travail du sol en interculture (3 passages de déchaumeur au lieu de 2) ou l'introduction de couverts sur les intercultures courtes impactent cette performance.

Système S2	Ce qui a marché	Ce qui n'a pas marché
Rendement	Plus fort de tous les systèmes testés pour les campagnes orge 2018, maïs 2019 et soja 2020	Rendement le plus faible lors de la campagne blé 2021 (concurrence ray-grass)
IFT Herbicide	IFT inférieur à la référence régionale sur toutes les campagnes	
Charges de mécanisation	Bien inférieures au système S1 et maîtrisées par rapport aux systèmes S4 et S5 pour les trois dernières campagnes	Très proches du système le plus coûteux sur ce point (S1) pour les deux premières campagnes (<i>trois passages au lieu de deux</i>)
Marge semi-nette	Marge la plus forte en 2018 et 2019 (avec le système S3)	

Système S5	Ce qui a marché	Ce qui n'a pas marché
Rendement	Équivalent aux systèmes en TCS en 2020 (soja)	Systématiquement plus faible que les autres systèmes testés (<i>pertes à la levée et concurrence adventices</i>), sauf en 2020
IFT Herbicide	Équivalent aux autres systèmes, inférieur à la référence régionale, en 2020 (soja)	IFT supérieur à la référence régionale en 2018 et 2019 (orge et maïs)
Charges de mécanisation	Plus faibles de tous les systèmes sur toutes les campagnes	Gain de charges faible par rapport aux autres systèmes et notamment S2 sur le blé (<i>broyage des cannes de colza</i>) et le maïs (<i>couvert relais supplémentaire</i>)
Marge semi-nette	Équivalent aux systèmes en TCS en 2020 (soja)	La plus faible sur toutes les campagnes sauf la 1 ^{ère} (2016) et en 2020

Les principaux points forts et faibles du système S4 sont les mêmes que pour le système S5 :

- **malgré des charges totales plus faibles**, le système présente une **marge semi-nette** nettement **inférieure aux autres systèmes testés**, du fait d'un **rendement plus faible** (*il est à noter cependant que le strip-till a permis d'éviter les pertes à la levée par rapport au semis direct mais qu'il engendre un surcoût en charges de mécanisation*),

- la **pression adventice** est plus forte pour ce système que pour les systèmes avec travail du sol, l'**IFT herbicide** devenant **supérieur à la référence régionale**.

Cependant, il est à noter que ces deux points ne se vérifient pas lors des dernières campagnes (soja en 2020 et blé en 2021) : le semis direct atteint la meilleure marge de tous les systèmes, avec un IFT égal à celui des autres systèmes et inférieur à la moyenne régionale.

Concernant la fertilité physique

Les densités apparentes (g/cm³) sont mesurées dans trois horizons (0-10cm / 10-20cm / 20-30 cm) chaque année pour chaque système depuis 2017. Chaque mesure fait l'objet de trois répétitions pour rendre compte de la variabilité au sein de la parcelle, ce qui permet de calculer une moyenne et un écart-type par mesure.

Les répétitions demeurent cependant dans la zone sud de la parcelle, homogène du point de vue de la texture du sol et du type de profil, de manière à ne pas engendrer de variabilité des mesures liées à la nature du terrain.

Pour plus de détail, cf. **Annexe 6**.

Les questions que l'on se pose sont les suivantes :

- 1) est-ce que, pour un horizon et une année donnée, la densité apparente est significativement différente d'un système à l'autre ?
- 2) est-ce que, pour un horizon et un système donné, la densité apparente est significativement différente d'une année à l'autre ?

Pour répondre à ces questions, des tests statistiques ont été mis en œuvre sur l'ensemble des données acquises de 2017 à 2021 inclus.

Les principaux résultats sont les suivants :

→ concernant le plan d'échantillonnage :

- l'horizon 2 ne peut pas apporter d'information supplémentaire dans l'analyse statistique des données et peut donc être écarté. Les prélèvements à partir de 2022 pourraient donc être réalisés sur deux horizons seulement : H1 en surface (0 – 9 cm) et H3 en profondeur (20-29 cm), avec un prélèvement de l'horizon 3 de manière à ce que cette profondeur (20-29 cm) soit garantie pour chaque prélèvement

- l'agglomération des données des SdC2 et 3 d'une part (TCS) et SdC4 et 5 d'autre part (semis direct) permet une analyse plus robuste. Il s'avère inutile de complexifier l'interprétation des résultats en comparant les cinq systèmes de culture : la comparaison de 3 systèmes (SdC1, SdC2+3 et SdC4+5) est suffisante concernant la densité apparente, en tous cas tant que la conduite de ces systèmes n'introduit pas de différence susceptible d'impacter la densité apparente

→ concernant l'évolution des densités apparentes :

- en profondeur, la densité apparente dans le SdC1 (labour) augmente au fil des ans et est significativement différente entre 2017 et 2021,
- elle reste cependant significativement plus faible que la densité apparente en profondeur des SdC 2 et 3 (en TCS) et 4 et 5 (en semis direct),
- en profondeur, les densités apparentes des SdC 2 et 3 (en TCS) et 4 et 5 (en semis direct) ne sont pas significativement différentes entre elles⁴ et au fil des années,
- en surface, les densités apparentes du SdC1 (labour) et des SdC 2 et 3 (en TCS) ne sont pas significativement différentes entre elles⁵,
- elles sont significativement différentes de la densité apparente en surface des 4 et 5 (en semis direct) (plus forte)⁶,
- en surface, les densités apparentes n'évoluent pas significativement au fil des ans au sein de chaque système.

Si on écarte les conclusions évidentes, liées aux impacts attendus du travail du sol selon les systèmes et la profondeur (cf. notes de bas de page), les enseignements que l'on peut tirer de l'analyse statistique de l'ensemble de ces résultats sont les suivants :

- l'horizon profond (non travaillé) en SdC 1 (labour) se compacte au fil des ans,
- la densité apparente de l'horizon profond (non travaillé) en SdC 2 et 3 (en TCS) et 4 et 5 (en semis direct) n'évolue pas au fil du temps : on aurait pu attendre, au bout de 5 ans, qu'elle diminue, sous l'action notamment des vers de terre, surtout en semis direct, mais il n'en est rien,
- de même en surface, l'horizon non travaillé en semis direct reste compact et sa densité apparente n'évolue pas au fil des ans (pas d'action des racines du couvert ni des vers de terre ou autre activité biologique).

Pour plus de détail, cf. **Annexe 6**.

Ces résultats se confirment pour la plupart en 2022 :

- en profondeur, la densité apparente dans le SdC1 (labour) augmente au fil des ans et est significativement différente entre 2017 et 2022,

4 C'est normal puisque dans ces systèmes l'horizon profond n'est jamais travaillé.

5 C'est normal puisque les 10 premiers centimètres du sol sont travaillés tous les ans sur ces systèmes.

6 C'est normal puisque ces systèmes ne sont, par définition, jamais travaillés.

- il n'y a cependant plus aucune différence de densité apparente en profondeur en 2022 entre les systèmes S1 (en labour), S2 + S3 (en TCS) et S4 + S5 (en semis direct),
- en profondeur, les densités apparentes des systèmes S2 et S3 (en TCS) et S4 et S5 (en semis direct) ne sont pas significativement différentes entre elles ni au fil des années,
- en surface, les densités apparentes 2022 du système S1 (en labour) est un peu supérieur à celles des systèmes S2 + S3 (en TCS) et S4 + S5 (en semis direct) (S2+S3 et S4+S5 étant similaires)
- en surface, les densités apparentes n'évoluent pas significativement au fil des ans pour le système S4 + S5 (en semis direct).

Les conclusions précédentes sont donc confirmées :

- l'horizon profond (non travaillé) en système S1 (labour) se compacte au fil des ans et atteint en 2022 les mêmes valeurs de densité apparentes que les autres systèmes,
- la densité apparente de l'horizon profond (non travaillé) des systèmes S2 et S3 (en TCS) et S4 et S5 (en semis direct) n'évolue pas au fil du temps : on aurait pu attendre, au bout de 5 ans, qu'elle diminue, sous l'action notamment des vers de terre, surtout en semis direct, mais il n'en est rien,
- de même en surface, l'horizon non travaillé en semis direct reste compact et sa densité apparente n'évolue pas au fil des ans (pas d'action des racines du couvert ni des vers de terre ou autre activité biologique).

Concernant la mesure de la densité apparente en surface, elle n'est pas perturbée par une humidité trop importante de l'échantillon : celle-ci reste tout à fait correcte par rapport aux conditions de validité de la mesure.

Pour plus de détail, cf. **Annexe 6bis**

Concernant la fertilité biologique

Concernant le suivi de la **biomasse de vers de terre**, un **effet notable du travail du sol**, en système labour mais aussi en systèmes TCS, a été mis en évidence en 2019 **dans les semaines qui suivaient l'intervention** : deux fois plus de vers de terre ont été relevés en semis direct par rapport aux autres systèmes. Cependant, les relevés après huit mois **sous couvert d'interculture longue** ont révélé un **lissage des différences entre systèmes** (différences non significatives). Un **effet de la sécheresse**, qui a fait varier la biomasse de vers de terre relevés dans des proportions similaires au travail du sol, a également été mis en évidence au printemps 2019. Enfin, il n'est pas exclu, la largeur de chaque essai étant limitée (24m) que les vers puissent **migrer dans les bandes voisines**.

Lors des deux dernières campagnes, le nombre de vers de terre par m² a augmenté dans tous les systèmes de culture, avec un maintien du rapport entre le nombre de vers de terre par m² atteint en labour (SdC 1), en TCS (SdC 2 et 3) et en semis direct (SdC 4 et 5) :

- en 2020 : 10 en labour, 20 en TCS, 45 en semis direct
- en 2021 : 30 en labour, 70 en TCS, 100 en semis direct
- avec moitié-moitié endogés/anéciques en TCS et semis direct

Pour plus de détail, cf. **Annexe 7**.

Concernant le suivi du **taux de matières organiques**, les trois campagnes de mesure réalisées en 2015, 2017 et 2019 n'ont **pas révélés de différences significatives entre les cinq systèmes testés** : entre 1,4 et 1,8 % en fonction des systèmes et des années (2015-2017-2019), **valeurs faibles** mais bien réparties entre humus (80 à 85%) et MO libre (15 à 20%). Ce constat n'est pas étonnant, notamment dans la mesure où le programme de **fertilisation organique** est **identique** dans chaque système.

En revanche, une **différence significative entre années, tous systèmes confondus**, a été notée suite à la première interculture longue, mise en place de l'automne 2018 au printemps 2019 : les taux de matières organiques relevés à la **sortie de l'hiver (fin février) 2019** ont tous marqué une **tendance à la baisse** par rapport aux taux relevés en 2015 puis en 2017. Cette tendance est à mettre en lien avec une **forte minéralisation du carbone mesurée** à la sortie de l'hiver (fin février) 2019.

En **2022**, le constat s'inverse : **dans tous les systèmes**, le taux de matières organiques est en **hausse d'au moins 0,3 %**. Mais le taux de MO total reste faible (1,8%). Malgré un bon équilibre entre les réserves organiques sur le long terme (MO liée, autrement dit humus) par rapport aux réserves à plus court terme (MO libre, jeune) et et rapport C/N équilibré indiquant des MO liées et libres bien évoluées, **les matières organiques sont déficitaires**, dans le compartiment libre comme dans le lié.

Si la situation est satisfaisante d'un point de vue qualitatif (MO de qualité et bonne minéralisation), elle reste donc insuffisante d'un point de vue quantitatif.

Il faut redresser les compartiments organiques : les apports de compost entrepris vont dans le bon sens, surtout pour augmenter le taux d'humus, mais restent insuffisants. Il faudra les poursuivre encore quelques années pour combler l'intégralité du déficit.

Mais il faut aussi redresser le **compartiment libre** : les résidus de cultures et les restitutions de couverts végétaux sont un bon levier pour alimenter ce compartiment en MO fraîche, mais ils ne suffisent pas : il faudrait **apporter en plus du fumier frais non composté**, pour augmenter rapidement la teneur de MO libre, à raison de 20t/ha tous les ans pendant 3 ans au moins. Un apport supplémentaire de fumier d'environ 10t/ha doit également être envisagé après chaque culture de blé ou d'orge pour compenser les exportations de paille.

C'est l'ensemble de ces constats qui a mené à la modification du schéma de gestion des matières organiques sur la plateforme d'essai (cf. chapitre 6 page 7).

Pour plus de détails sur les résultats d'analyse CelestaLAB, cf. **Annexe 7bis**.

Concernant les performances économiques et environnementales

Les deux systèmes basés sur le **semis direct pour les céréales (S4 et S5)** se sont traduits pour ces cultures par un **salissement accru** des parcelles et donc la nécessité d'**augmenter les IFT herbicides afin de maintenir les rendements**. Cependant, **pour le maïs** (dernière campagne de l'essai) ce recours accru aux **herbicides n'a pas permis d'éviter un décrochage de rendement** pour le système S5 dû à des pertes à la levée, tandis que **l'implantation en strip-till** dans le système S4 a permis de **limiter l'écart** à trois points avec le système ayant atteint le meilleur rendement pour cette campagne.

Du point de vue des **performances économiques**, l'augmentation des IFT herbicides joue bien sûr sur les charges opérationnelles de ces deux **systèmes S4 et S5 par rapport au système de référence S1** basé sur le labour systématique. Mais ce surcroît de charges est largement compensé par la **baisse des charges de mécanisation et de main d'œuvre**. Ainsi, la **marge semi-nette du système S4 est supérieure à celle du système de référence S1 pour les deux dernières campagnes**. La **marge semi-nette du système S5** en revanche reste nettement **inférieure aux autres systèmes testés**, du fait d'un **rendement plus faible**. La marge semi nette obtenue sur colza est peu significative dans la mesure où le rendement a été sécurisé pour la première campagne par un labour sur l'ensemble de la plateforme préalable au démarrage de l'essai **le 28 octobre 2014** pour l'implantation du blé tendre d'hiver précédant le colza.

Les deux systèmes en TCS S2 et S3 quant à eux sont les **plus performants économiquement sur les deux dernières campagnes** (orge 2018 et maïs 2019), du fait de **rendements obtenus supérieurs aux autres systèmes** et de **charges de mécanisation et de main d'œuvre maîtrisées**.

Mais ce résultat est à **nuancer en fonction du précédent cultural et de la gestion des intercultures courtes** :

- **pour un précédent colza**, nécessitant un, voire deux **broyages**, le **gain de charges** de mécanisation en TCS par rapport au système labour se trouve **amoindri** (la remarque vaut aussi pour les systèmes en semis direct) ;
- le **semis d'un couvert d'interculture courte pèse sur les charges** opérationnelles.

Concernant ce dernier point, il est à noter que le semis d'un couvert d'interculture courte n'a été réalisé qu'une seule fois au cours de l'essai, avant l'implantation du blé à la deuxième campagne.

Si les **IFT herbicides du système S1 basé sur le labour** sont les **plus faibles de tous les systèmes testés pour toutes les campagnes hors colza**, les deux **systèmes en TCS S2 et S3** présentent des **IFT très proches de S1** et systématiquement **inférieurs à la référence régionale**. En revanche les systèmes basés sur le **semis direct sur tout ou partie de la rotation (S4 et S5)** sont associés aux **IFT herbicides les plus forts, supérieurs à la référence régionale**.

En 2020 cependant, le soja, implanté en semis direct dans les systèmes S4 et S5, **atteint des performance similaires dans les systèmes en TCS (S2 et S3) et semis direct (S4 et S5)**, que ce soit en terme de rendement et de marge ou d'IFT herbicide.

9 – Enseignements, pistes d'amélioration du système et perspectives

Concernant la rotation

Suite aux mauvaises performances du soja en 2019 et 2020 à l'échelle de la ferme, cette culture est abandonnée au profit du tournesol, nécessitant de revoir la rotation type de l'atelier grande culture. A compter de l'année 2021, la rotation est la suivante :

Blé → Maïs → Tournesol → Orge → Colza (tête de rotation)

Suite à la récolte du blé à l'automne 2021, la plateforme d'essai a donc été semée en maïs et non en colza, avec de ce fait l'installation d'un couvert d'interculture longue sur l'ensemble des systèmes testés à l'été 2021.

Concernant la conduite des systèmes

Les limons sableux n'ont pas de capacité de restructuration naturelle. De plus, le taux de matières organiques (MO) d'après les analyses de sol est faible (entre 1,4 et 1,7 %), avec une tendance à la surconsommation par minéralisation. Le système n'a donc pas de capacité à se solidifier et a une tendance à la compression.

Il faut amener plus d'amendements stables pour calmer la minéralisation et faire augmenter le taux de matières organiques dans le sol. **Une nouvelle règle pour la conduite des systèmes testés sera donc la suivante : augmenter la fréquence des apports d'amendements organiques à environ une fois par an**, avec une quantité d'amendement identique pour tous les systèmes. Cette nouvelle règle vise à favoriser la remontée du taux de MO et observer quel système arrive le premier à un taux satisfaisant. **Le but est de laisser à chaque système la possibilité « de s'exprimer » en maximisant le taux de MO du sol.**

L'ensemble de ces constats faits dans le chapitre fertilité biologique page 15 a mené à la modification du schéma de gestion des matières organiques sur la plateforme d'essai (cf. chapitre 6 page 7).

Concernant les systèmes testés et les objectifs de la plateforme

Le système incluant le strip-till comme travail du sol n'apparaissait plus pertinente, dans la mesure où ce mode de travail du sol n'est utilisé que ponctuellement dans la rotation et n'est pas représentatif des pratiques rencontrées dans la région. Cette variante **a été remplacée en 2020 par une bande en semis direct. La deuxième bande en semis direct devient un semis direct sans usage de glyphosate.**

Le système correspondant à un labour systématique sera conservé comme système de référence mais sera complété par un **système basé sur un labour occasionnel**, décidé à chaque campagne en fonction des conditions de l'année, notamment en fonction du salissement de la parcelle. Ce nouveau système permettra de relativiser les effets du labour sur la fertilité du sol (puisque celui-ci ne sera plus systématique) tout en étudiant ses bénéfices sur la gestion des adventices. Afin de ne pas multiplier les systèmes testés, cette nouvelle modalité **prend la place du système actuellement basé sur un travail du sol simplifié avec couvert**. En effet, la variante entre les deux systèmes basés sur un travail du sol simplifié (couvert lors des intercultures courtes) n'a pu être

mise en œuvre qu'une seule fois depuis le début de l'essai. De plus, cet historique reste cohérent avec les règles de conduite du nouveau système lorsqu'un labour ne sera pas déclenché.

L'utilisation du glyphosate est supprimée sur cet essai à compter de 2022 sur les bandes correspondant aux systèmes S2 (TCS avec labour occasionnel) et S5 (semis direct historique) : il doit être remplacé par les autres leviers existants pour gérer les adventices en interculture (labour en S2 et pâturage par les ovins en S5 notamment).

Concernant plus spécifiquement le colza, le semis avec des plantes compagnes a démontré son intérêt, notamment sur la limitation du recours aux herbicide : il sera généralisé sur l'ensemble des systèmes.

Concernant le suivi des performances

Les indicateurs de la performance agronomique des systèmes utilisés sont le rendement, les composantes du rendement et le suivi des adventices.

Concernant les **composantes du rendement**, celles-ci sont **mesurées par différents groupes d'élèves** au cours de chaque campagne. Mais la **variabilité des résultats** rend l'**interprétation** des résultats **délicate** et limite donc les possibilités d'explication du rendement de chaque système. Il faudra donc à l'avenir doubler ces mesures par des **mesures réalisées par la responsable de l'expérimentation**.

Concernant le **suivi des adventices**, il est consigné de manière **détaillé** mais peu de fois, essentiellement **à la récolte**. Ce type de suivi ne permet pas de rendre compte finement de la **concurrence subie par la culture tout au long de la campagne** et qui peut expliquer des écarts de rendement. Il faudra donc à l'avenir adopter une autre stratégie de suivi : **moins exhaustive**, voire basée sur un simple seuil visuel plutôt qu'un comptage par placettes, **mais répétée souvent** tout au long de la campagne, de l'implantation à la récolte de la culture.

Enfin, concernant la **mesure du rendement**, elle doit être réalisée **sur toute la largeur (12m)** de la demi-bande affectée à cette mesure et **sur toute la longueur de 50m** dans la partie sud de la parcelle correspondant à la zone homogène de la plateforme, afin de ne **pas introduire de biais de mesure lié à la variabilité spatiale**.

Concernant les indicateurs de suivi de la fertilité du sol

Actuellement, le suivi de la fertilité physique est fait essentiellement à l'aide de mesures de densité apparente. Un comptage de vers de terre est réalisé chaque campagne pour le suivi de la fertilité biologique mais il n'est pas valorisé dans l'analyse de la fertilité physique. Les résultats que nous fournissons actuellement ces indicateurs ne suffisent donc pas à appréhender la structure du sol et sa fonctionnalité en terme de circulation de l'eau, de l'air et de prospection racinaire. De plus, l'évolution des résultats n'est pas toujours facile à interpréter. L'utilisation d'autres indicateurs permettrait de mieux expliquer ceux-ci.

Afin de comprendre et d'identifier les impacts du travail du sol, il semble judicieux de suivre les quatre fonctions du sol sur lesquelles joue la fertilité physique :

- Son aération, avec la mesure de sa porosité via la densité apparente.
- Le développement racinaire à l'aide de test bêche et de mini-profils 3D.
- La circulation de l'eau par des tests d'infiltration
- L'activité biologique, en dénombrant les vers de terre et en caractérisant la présence de chaque espèce, notamment les anéciques et les endogés, puisqu'elles ont des impacts différents sur la structure du sol

Il faut donc compléter les indicateurs mis en place à la création de la plateforme (densité apparente et comptage de vers de terre) par des indicateurs utiles suggérés par la bibliographie, à savoir :

- des test d'infiltration,
- des mini-profils 3D,
- une caractérisation des vers de terre par espèce et stade : endogés juvéniles, endogés adultes, anéciques juvéniles, anéciques adultes, épigés juvéniles, épigés adultes.

En effet :

- la densité apparente n'est qu'un indicateur global de la qualité de la structure mais il ne donne pas d'infos sur la bonne circulation de l'eau (une porosité faible mais avec une bonne connectivité assure une bonne circulation) et la colonisation par les racines,
- les différentes modalités de travail du sol et la diminution du travail n'impacte pas toutes les espèces de vers de terre de la même manière (impacte surtout les anéciques, moins les endogés),
- les espèces de vers de terre n'ont pas la même action sur la structure du sol (anéciques = porosité verticale profonde avec forte connectivité, endogés = structure grumeleuse en surface),
- les tests d'infiltration permettront de juger de la fonctionnalité de la structure du point de vue de la circulation de l'eau,
- les mini-profils 3D permettront de juger de la colonisation par les racines et mesurer une profondeur d'enracinement (utile pour appréhender des différences de rendement...).

Concernant la fertilité biologique, l'accent étant à mettre sur l'augmentation des apports en matières organiques, l'action des décomposeurs sera à suivre plus régulièrement (à chaque campagne) pour rendre compte de la réponse de chaque système. Une approche simple, peu coûteuse et pédagogique, de type « test du slip », Litterbag ou test « sachets de thé », est à privilégier et donne une vision de l'action globale de l'ensemble des décomposeurs. **Le test du slip a été mis en œuvre avec succès à l'interculture 2021-2022 sur la plateforme sol** (avec des témoins sur d'autres parcelles, dans un bois à proximité immédiate notamment, pour servir de témoin).

Enfin, ces nouveaux indicateurs permettront de mettre en évidence les relations entre ces trois aspects de la fertilité :

- pour aider les apprenants à construire une vision systémique des problématiques abordées en leur permettant d'identifier les interrelations entre les différentes composantes suivies au travers de ces indicateurs,
- pour mieux analyser les résultats et communiquer auprès des professionnels agricoles.

Concernant la formalisation du transfert pédagogique

La forte implication des apprenants (130 en moyenne pour chaque campagne) dans la réalisation de mesures sur le terrain est à pérenniser.

(cf. photos en **Annexe 8**)

Les classes ont surtout été associées à la prise de mesures et aux observations :

- Suivi du peuplement végétal : perte à la levée, perte en sortie d'hiver, composantes du rendement, pesées de biomasse pour le colza,
- Suivi des adventices et de l'état sanitaire du peuplement végétal,
- Estimation des populations lombriciennes,
- Calcul de la fertilisation azotée,
- Lecture de profils culturaux

L'association des apprenants à l'analyse des résultats de ces mesures et à la réalisation de liens entre ces différents résultats doit donc être améliorée.

10 – Contacts

- **Stéphanie WEISSENBACHER** (EPLEFPA Vesoul)
mail : stephanie.weissenbacher@educagri.fr