



HAL
open science

Conduites et performances de systèmes de culture économes en herbicides et en travail du sol dans le Sud-Ouest de la France

Mélanie Lobietti, Gilles Tison, Paul Faucher, Eva Deschamps, Lucas Bontempi, Celine Guillemain, Lionel Alletto

► To cite this version:

Mélanie Lobietti, Gilles Tison, Paul Faucher, Eva Deschamps, Lucas Bontempi, et al.. Conduites et performances de systèmes de culture économes en herbicides et en travail du sol dans le Sud-Ouest de la France. *Innovations Agronomiques*, 2024, 98, pp.281-299. 10.17180/ciag-2024-vol98-art19 . hal-04822809

HAL Id: hal-04822809

<https://hal.inrae.fr/hal-04822809v1>

Submitted on 6 Dec 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License



Conduites et performances de systèmes de culture économes en herbicides et en travail du sol dans le Sud-Ouest de la France

Mélanie LOBIETTI¹, Gilles TISON², Paul FAUCHER², Eva DESCHAMPS³, Lucas BONTEMPI⁴,
Céline GUILLEMAIN⁴, Lionel ALLETTO⁵

¹ Chambre Régionale d'Agriculture Occitanie – 24 chemin de Borde Rouge, BP 22107 – Auzeville, 31321 Castanet-Tolosan Cedex

² INRAE UE APC - 24 chemin de Borde Rouge, 31320 Auzeville-Tolosane

³ Arvalis Institut du végétal – 6 chemin de la côte vieille, F-31450 Baziège

⁴ Chambre d'agriculture du Tarn et Garonne – 130 avenue Marcel Unal, F-82017 Montauban Cedex

⁵ INRAE UMR AGIR - 24 chemin de Borde Rouge, 31320 Auzeville-Tolosane

Correspondance : melanie.lobietti@occitanie.chambagri.fr

Résumé

La réduction de l'usage des herbicides est un défi majeur pour des systèmes de culture mobilisant peu, voire pas, de travail du sol tels que les systèmes en agriculture de conservation, et le plus souvent l'usage du glyphosate est renforcé dans ces systèmes. Afin de tester des stratégies de gestion alternative à l'usage d'herbicides, en particulier glyphosate et S-métolachlore, tout en visant une réduction forte du travail du sol, un réseau de dispositifs d'expérimentations "systèmes de culture" a été mobilisé pendant 6 ans, de 2018 à 2023. Comparés à leur système de référence, ces différentes expérimentations ont été conduites en intégrant une diversité de niveaux de ruptures à la fois sur la réduction de l'utilisation de pesticides allant de l'usage conventionnel au 0 phyto, avec un focus particulier sur la réduction voire la suppression des usages de glyphosate et S-métolachlore, et sur le travail du sol allant des pratiques conventionnelles (labour régulier) à l'agriculture de conservation des sols (rotation longue, couverts végétaux, semis direct). Ces systèmes innovants intègrent différents leviers agronomiques (labour, faux-semis, semis décalé, ...) et techniques de désherbage alternatives (herse étrille, binage, désherbage chimique localisé).

Les résultats permettent de caractériser les performances multicritères de ces systèmes à la fois économes en produits phytosanitaires et en travail du sol. Il ressort de ces expérimentations que même si la réduction globale de l'IFT est possible dans ces systèmes (de 4 à 45 %), la réduction de l'utilisation des herbicides (en particulier du glyphosate et S-métolachlore) reste difficile dans certaines situations et dès que la possibilité d'un usage « en ultime recours » est offerte, le recours occasionnel devient la règle.

Les performances économiques des systèmes intégrant des cultures de diversification et des couverts végétaux restent fragiles et en dessous des systèmes de référence "conventionnels" ou en AB. Par ailleurs, la durabilité de ces systèmes implique une reconception progressive (ou pas-à-pas) visant à raisonner l'articulation des différents leviers tout en conservant une forte adaptabilité

Mots-clés : Reconception, glyphosate, S-métolachlore, travail du sol, multi-performance, combinaison de leviers

Abstract: Management and Performance of Herbicide- and Tillage-Efficient Cropping Systems in Southwestern France

The reduction of herbicide use is a major challenge for cropping systems that rely on minimal or no soil tillage, such as conservation agriculture systems, where glyphosate use is often intensified. To test



alternative management strategies to herbicide use, particularly glyphosate and S-metolachlor, while aiming for a significant reduction in soil tillage, a network of "cropping systems" experimental setups was implemented over a 6-year period, from 2018 to 2023.

Compared to their reference systems, these various experiments incorporated a range of disruptions, including the reduction of pesticide use—from conventional applications to zero-phyto systems, with a particular focus on the reduction or elimination of glyphosate and S-metolachlor—and modifications in soil tillage, from conventional practices (regular plowing) to conservation agriculture (extended crop rotations, cover crops, no-till). These innovative systems integrate various agronomic levers (plowing, false seedbed techniques, delayed sowing, etc.) and alternative weeding methods (harrowing, hoeing, localized chemical weeding).

The results characterize the multi-criteria performance of these systems, which aim to reduce both pesticide use and soil disturbance. The experiments reveal that although an overall reduction in the Treatment Frequency Index (TFI) is achievable (ranging from 4% to 45%), the reduction in herbicide use—especially glyphosate and S-metolachlor—remains difficult in certain situations. Moreover, whenever the option of using these products "as a last resort" is available, their occasional use becomes the norm.

The economic performance of systems incorporating crop diversification and cover crops remains fragile, often falling below that of conventional or organic farming reference systems. Furthermore, the long-term sustainability of these systems requires a gradual (or stepwise) redesign, aimed at carefully balancing various management levers while maintaining high adaptability.

Keywords: Re-design, glyphosate, S-métolachlore, tillage, multi-performance, combination of practices

1. Introduction

Le travail du sol, notamment par retournement, est un des leviers principaux de lutte non chimique contre la flore adventice (Mazoyer et Roudart, 1997) mais il peut générer une perte de fertilité et d'importants problèmes d'érosion des sols qui sont négatifs pour les cultures en place (difficultés de levée, plants arrachés, ...) et un colmatage des rivières du Sud-Ouest de la France. Parmi les voies d'atténuation de ces problématiques d'érosion, les techniques de non-travail du sol se sont développées partout dans le monde (Gebhardt et al., 1985 ; Labreuche et al., 2014) jusqu'à l'agriculture de conservation des sols (ACS) qui, à ce levier de non-travail du sol, associe des rotations diversifiées et l'utilisation quasi systématique de cultures de service, visant la couverture permanente des sols (Palm et al., 2014). Pour autant, le plus souvent, l'arrêt du labour entraîne une augmentation du salissement (Barberi et Mazzoncini, 2001 ; Torresen et al., 2003), à la fois en biomasse et en diversité d'adventices (Blackshaw et al., 1994; Anderson et al., 1998), et est souvent associé à une augmentation de l'utilisation des pesticides, en particulier des herbicides (Adeux et al., 2022 ; Alletto et al., 2010 ; Longueval et al., 2012). Toutefois, il existe peu de références sur la gestion de la flore dans des systèmes mobilisant l'ensemble des leviers de l'ACS et ayant cherché à réduire l'utilisation des pesticides.

Le projet DEPHY EXPE "REDUCE" s'intéresse particulièrement à l'évaluation des performances multicritères de systèmes de culture économes en pesticides conduits en agriculture de conservation des sols ou en travail du sol réduit. Le projet se focalise particulièrement sur la réduction de l'utilisation des matières actives les plus fréquemment retrouvées dans les eaux : le S-métolachlore (SMOC) et le glyphosate (GLY) (notre-environnement, 2023).

Le projet a pour objectifs (1) d'évaluer les performances et les niveaux d'atteinte des objectifs multicritères fixés aux systèmes étudiés et (2) de dégager des combinaisons de leviers de gestion et des règles de décision permettant d'atteindre les objectifs de réduction d'usages des pesticides et de gestion durable de la flore adventice.



2. Présentation des dispositifs et méthode d'évaluation

Le projet a été construit autour d'un réseau de dispositifs complémentaires associant 3 expérimentations systèmes de culture (ESC) pilotées par Arvalis (ESC_SYPPRE) et INRAE (ESC_SYS_AUZ et 0Pest) et 1 observatoire piloté (OP) conduit par la chambre d'agriculture de Tarn-et-Garonne (ACS_vallée_CA82).

Les ESC ont été conduites durant 6 ans entre 2018 et 2023 avec 4 campagnes de culture complètes (2019, 2020, 2021 et 2022). Le système ACS_vallée_CA82 bénéficie d'un statut particulier dans la mesure où il est conduit comme une ESC mais avec des contraintes similaires à celles que l'on pourrait retrouver chez des agriculteurs (ajustements des pratiques, opérations réalisées en prestation...) Dans cette étude, les performances de ce système seront évaluées de la même manière que pour les ESC.

Au total 2 systèmes servant de référence et 5 systèmes innovants ont été étudiés et sont présentés dans cet article (Tableau 1).

Ces systèmes ont été répartis selon deux niveaux de rupture permettant de croiser un gradient de réduction d'utilisation de pesticides à un gradient de réduction du travail du sol (Figure 1).

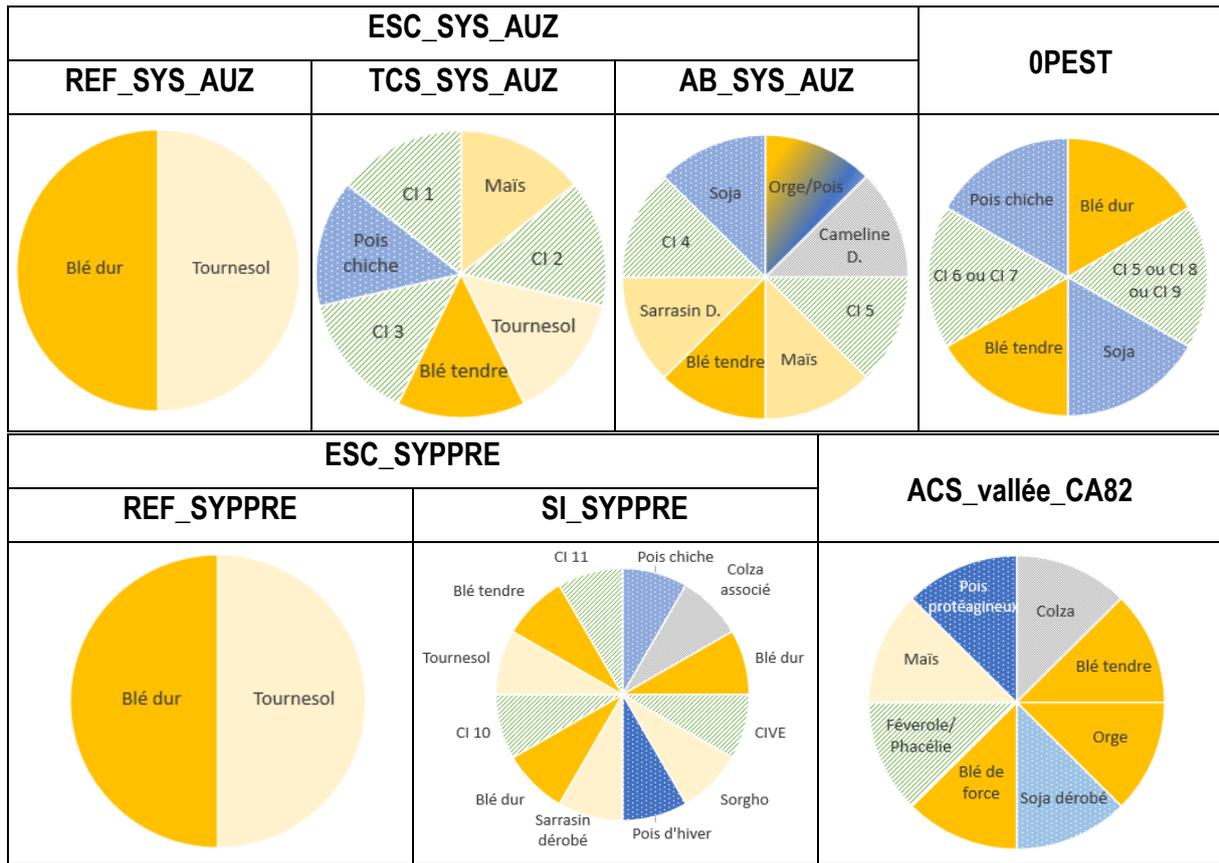
Les 2 systèmes de référence ont été construits à partir des pratiques conventionnelles mises en œuvre par les agriculteurs de la région. Ils ont été conçus sur la base de la rotation courte "Blé dur – Tournesol", dominante dans le contexte pédoclimatique du projet (Agriscopie 2021).

Les deux systèmes ont recours au labour régulier mais se différencient par l'absence d'utilisation du glyphosate (REF_SYS_AUZ) ou son utilisation à la dose homologuée pour la gestion des graminées (REF_SYPPRE).

Les 5 systèmes innovants se situent dans des contextes climatiques proches mais qui se différencient par le type de sol : alluvions de bas de coteaux pour les systèmes REF_SYS_AUZ, TCS_SYS_AUZ, AB_SYS_AUZ et 0Pest ; argilo-calcaire de coteaux pour REF_SYPPRE et SI_SYPPRE ; argilo-limoneux pour ACS_vallée_CA82. Ces systèmes visent à la fois à réduire l'utilisation des pesticides et le travail du sol (Figure 1):

- 2 n'utilisent pas de SMOC, s'autorisent l'utilisation de GLY en ultime recours et ont un objectif de diminution de 50% de l'utilisation d'autres pesticides (SI_SYPPRE et ACS_vallée_CA82) avec 1 système qui s'autorise le labour occasionnel (SI_SYPPRE) et l'autre qui est conduit en ACS (ACS_vallée_CA82)
- 1 qui n'utilise ni de SMOC ni de GLY, avec un objectif de diminution de 50% de l'utilisation d'autres pesticides et le recours au labour occasionnel (TCS_SYS_AUZ)
- 2 qui n'utilisent aucun pesticide de synthèse (AB_SYS_AUZ et 0Pest) avec 1 système ayant recours au labour régulier (AB_SYS_AUZ) et l'autre de manière occasionnelle (0Pest).

Tableau 1 : Présentation des systèmes de culture. (CI=culture intermédiaire : CI 1=sorgho fourrager puis féverole/navette/vesce/phacélie ; CI 2=vesce pourpre/radis fourrager ; CI 3=navette/sorgho/moha ; CI 4=seigle/féverole/phacélie ; CI 5= féverole/phacélie ; CI6= sorgho fourrager/millet ; CI7=moutarde ; CI8=moutarde blanche/radis/phacélie ; CI 9=sorgho fourrager ; CI 10=sorgho fourrager/moha puis féverole/phacélie ; CI 11=sorgho fourrager/moha ; CIVE=triticale ou avoine d'hiver)



Gradient d'utilisation des pesticides

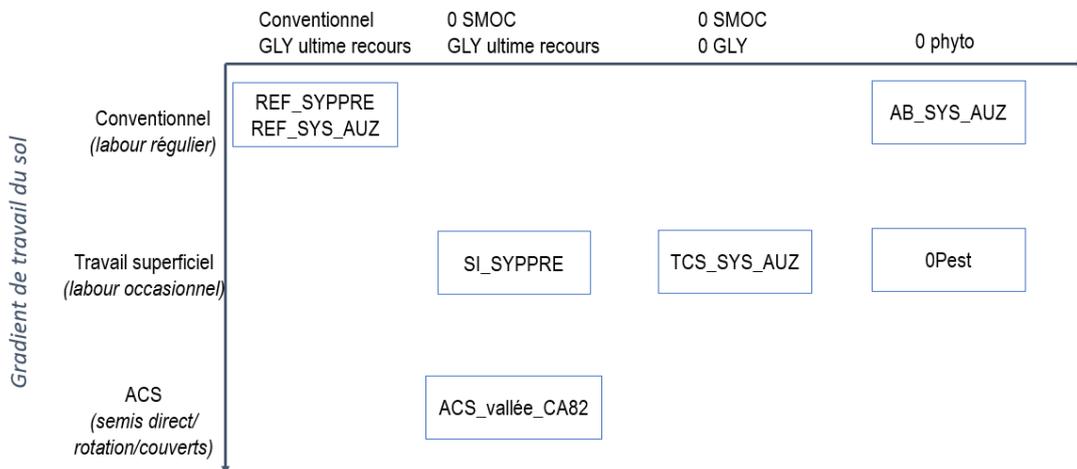


Figure 1 : Caractérisation des différents systèmes de culture en fonction du travail du sol et de l'utilisation des pesticides.

Dans tous les systèmes étudiés, toutes les composantes de la rotation sont présentes chaque année ce qui permet de mieux évaluer les effets de la variabilité climatique sur les performances des cultures. Les principales stratégies de gestion sont définies en début de projet et ont été ajustées en fonction des besoins à mi-parcours du projet.



Evaluation multi-critères

Les performances multicritères ont été évaluées à l'échelle des systèmes de culture. Afin de comparer les résultats des systèmes innovants par rapport à leur référence, différents indicateurs ont été retenus : efficacité économique des intrants et marge semi-nette (volet économique), indicateur de fréquence de traitement (IFT) et consommation en carburant (volet environnemental), temps de travail (volet social), rendements et bilan azoté (volet agronomique).

Performances économiques

Sur le dispositif SYPPRE, les résultats des systèmes innovants et de référence ont été extrapolés à une exploitation de 170 ha. Le matériel a été adapté en conséquence et toutes les cultures ont le même poids dans l'assolement. Dans le système innovant, chaque culture représente donc 21.25 ha à l'échelle de cette exploitation.

Sur ACS_vallée_CA82, les résultats du système innovant ont été extrapolés à une exploitation de 120 ha. Le matériel a été adapté en conséquence et toutes les cultures ont le même poids dans l'assolement. Dans le système innovant, chaque culture représente donc 20 ha à l'échelle de cette exploitation.

(i) L'efficacité économique des intrants (EE)

Elle permet de mettre en relation le résultat du système de culture et les ressources financières mobilisées pour les intrants. Il est calculé de la manière suivante :

$$EE = \frac{\text{produit brut} - \text{charges intrants}}{\text{charges intrants}}$$

Pour les systèmes des ESC SYS_AUZ et 0Pest, les prix retenus pour les cultures de rente correspondent à la valeur réelle de la culture à l'année. Les prix d'achat des couverts végétaux correspondent à une référence commune sur la base de $\frac{3}{4}$ semence de ferme et $\frac{1}{4}$ semence certifiée. Pour ACS_vallée_CA82, les calculs ont été réalisés sur la base de semences certifiées sauf pour les couverts végétaux et le soja déroché pour lesquelles ont été pris en compte le prix des semences de ferme. Pour le dispositif SYPPRE, les calculs ont été réalisés uniquement sur la base de semences certifiées, y compris pour les couverts végétaux. Les prix de récoltes sont calculés sur la base d'une vente en direct après la moisson, aucune stratégie de commercialisation n'a été prise en compte. Le coût des intrants sont des coûts réels obtenus localement pour les quantités du dispositif.

(ii) La marge semi-nette (MSN)

Elle permet d'apprécier la rentabilité économique du système de culture sans tenir compte de la rémunération de l'agriculteur. Elle est calculée de la manière suivante :

$$MSN (\text{€/ha}) = \text{produit brut avec aides} - (\text{charges opérationnelles} + \text{charges de mécanisation})$$

- *Produit brut avec aides (€/ha) = $\Sigma ((Rdt \times \text{Prix vente} + \text{Aides PAC coupl. et découpl.} + \text{indem. assur. réc.}) \times \text{Surf récolt.}) / \Sigma \text{Surface parcelles saisies}$*

- *Aides PAC couplées et découplées (€/ha)*

- *Charges opérationnelles (€/ha) = $\Sigma (\text{charges de semences} ; \text{de produits phytosanitaires} ; \text{d'engrais}) + \text{coût séchage grain} + \text{consommation de l'outil} \times \text{prix du fioul} + \text{dose irrigation} \times \text{coût irrigation} + \text{coût main d'oeuvre occasionnelle}$*



- Charges de mécanisation (€/ha) = Σ ((coût horaire d'utilisation de l'outil/performance de travail de l'outil) * fréquence d'intervention)

(iii) L'indépendance vis-à-vis des aides (IA)

Cet indicateur permet d'évaluer la sensibilité aux aides du système de culture mis en place. Un système de culture dont les marges seraient essentiellement basées sur des aides est considéré comme peu durable. La dépendance des aides publiques réduit l'adaptabilité et l'autonomie de ces systèmes.

- Si la MSN est inférieure à 0, le résultat est considéré comme nul.
- Si la MSN est inférieure aux aides alors l'IA sera égale à 0.
- Dans les autres cas, l'indépendance se calcule de la façon suivante : $1 - (\text{total des aides} / \text{MSN}) * 100$

Performances environnementales

Pour les indicateurs suivants, les calculs ont été effectués à l'échelle du système de culture à partir de la moyenne des résultats des parcelles de chaque système par année d'essais puis en effectuant la moyenne de ces résultats sur la durée totale prise en compte pour les dispositifs. Pour les dispositifs SYS_AUZ, 0Pest et SYPPRE, la durée prise en compte est de 4 ans (2019-2022) et pour ACS_vallée_CA82 elle est de 6 ans (2018-2023) (prise en compte de la campagne de démarrage et de fin de projet).

(iv) L'indicateur de fréquence de traitement (IFT)

C'est un indicateur de suivi de l'utilisation des produits phytosanitaires. Il est calculé de la manière suivante (Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire, 2023): $IFT = \frac{DA}{DR} \times PST$

DA : dose appliquée sur la surface traitée

DR : dose de référence

PST : proportion de surface traitée

Les IFT incluent les traitements réalisés sur les autres espèces présentes dans la succession lorsqu'il y a 3 cultures en deux ans (ex. cive/sorgho, pois/sarrasin). Toutes les interventions effectuées sur les couverts précédant une culture d'été ou durant les intercultures, sont rattachées à la culture suivante. Un IFT de référence régionalisé a également été calculé à partir des données d'IFT par culture issues des enquêtes PK 2017 (Agreste, 2019). L'IFT de référence régionalisé se calcule en faisant les moyennes des IFT des cultures présentes dans chacun des systèmes. Ces résultats sont à interpréter avec prudence car ils présentent un biais lié à l'année 2017 (unique et non incluse dans la durée de l'étude). Ceci permet cependant de comparer les données IFT à une référence pour les dispositifs qui en sont dépourvus (ACS_vallée_CA82).

(v) Consommation en carburant

La consommation en carburant se calcule en prenant en compte la consommation totale en carburant de chaque opération de travail du sol ramenée à l'hectare.

Performances agronomiques

(vi) Rendement

Atteinte ou non des objectifs de rendement fixés en début de projet.



(vii) Bilan azoté

Le bilan azoté (BN) simplifié est calculé de la manière suivante :

BN = entrées (engrais azotés * teneur en N) - sorties (quantités de biomasse et de grains exportés * teneur en N)

Performances sociales

(viii) Temps de travail (TT)

Il correspond au temps de traction dans les parcelles. Il est calculé de la manière suivante :

$$TT \text{ (h/ha)} = \frac{\Sigma (\text{surface traitée} \times \text{débit de chantier})}{\text{surface totale}}$$

3. Résultats

3.1 Des systèmes moins dépendants aux produits phytosanitaires

ESC SYS_AUZ

Pour le système TCS_SYS_AUZ, l'IFT total moyen est de 1,3 contre 2,3 pour le système REF_SYS_AUZ, qui correspond une diminution de 45% entre le système de référence et le système innovant (Figure 2a). On observe une diminution des IFT herbicides (- 28 % entre le système de référence et le système innovant) mais surtout une diminution du recours aux fongicides et aux insecticides (- 57%). Dans TCS_SYS_AUZ, les cultures de pois chiche et de tournesol ont été les moins consommatrices de pesticides (0,45 et 0,46 respectivement). Le maïs augmente quant à lui l'IFT moyen du système avec un IFT total moyen de 2,2. Pour toutes les cultures, on observe un IFT total plus bas que les références régionales (Figure 2b).

ESC SYPPRE

Pour ce système SI_SYPPRE, l'IFT total moyen est de 4,6 contre 4,7 pour le système REF_SYPPRE, qui correspond à une diminution de -4% entre le système de référence et le système innovant (Figure 2a). Certaines cultures du système SI_SYPPRE ont des IFT assez faible (3 pour le tournesol et le pois chiche, 0 pour le sarrasin) tandis que d'autres font augmenter l'IFT global à l'échelle du système (environ 7 pour le colza, environ 5 pour l'enchaînement CIVE/Sorgho). Pour toutes les cultures, on observe un IFT total un peu plus élevé que les références régionales (Figure 2b).

ACS_vallée_CA82

Pour le système ACS_vallée_CA82, l'IFT total moyen est de 3,8 contre 4 pour l'IFT régional recalculé à partir des cultures présentes dans la succession, ce qui correspond à une légère diminution de -5% entre la référence régionale et le système innovant (Figure 2a). On observe une diminution des IFT fongicides et insecticides (-13 % par rapport à la référence) et une augmentation de l'IFT herbicide (+4 % par rapport à la référence) (Figure 2b).

L'objectif de réduction des pesticides n'est donc pas atteint pour tous les systèmes étudiés. Malgré la diminution globale de l'utilisation des pesticides, celle-ci n'atteint en effet pas les -50% visés, et en particulier pour le poste herbicide qui peut même augmenter sur certains systèmes.

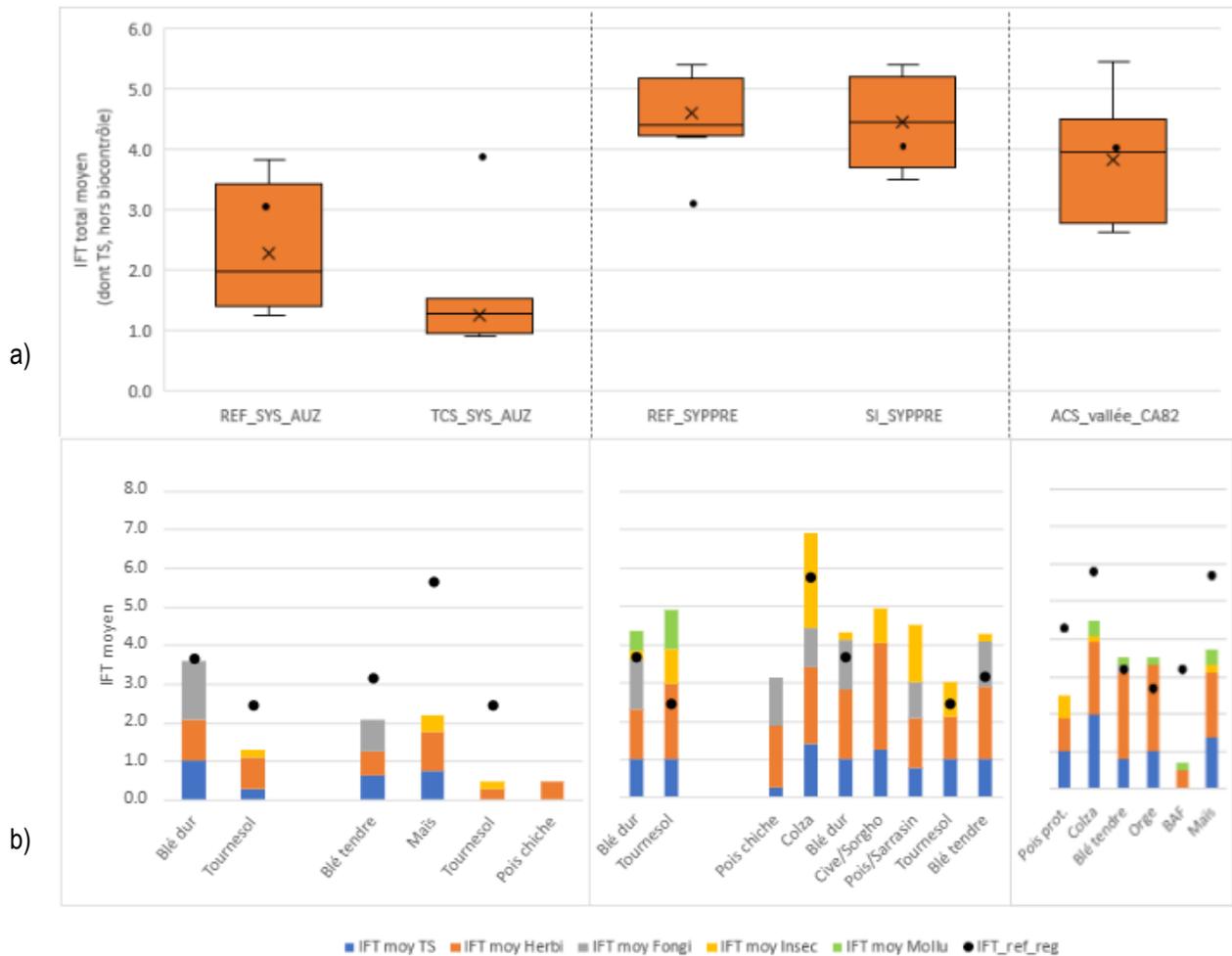


Figure 2 : IFT total moyen annuel des systèmes de culture innovants et de leurs références (a) ; détails des IFT par culture et par système (b).

3.2 Des stratégies de gestion diversifiées

Afin de répondre à la problématique de gestion des bioagresseurs en réduisant l'utilisation de pesticides et le travail du sol tout en maintenant de bonnes performances, différents leviers ont été mobilisés en combinaison avec d'autres et ce de façon systématique ou occasionnelle (Tableau 2).

Tableau 2 : Leviers mobilisés pour réduire l'usage des pesticides dans les systèmes innovants des ESC (zone pleine = mobilisation systématique ; zone hachurée = mobilisation occasionnelle)

SYSTEMES ETUDIES	LEVIERS MOBILISES													
	Semis direct ou travail du sol réduit	Labour occasionnel (< 1/3 an)	Labour régulier	Faux semis	Allongement de la rotation	Choix variétal	Mélange variétal	Mélange d'espèces	Densité - écartement	Décalage de date de semis	Désherbage chimique localisé	Désherbage mécanique	Culture intermédiaire	Adaptation de la fertilisation
TCS_SYS_AUZ														
AB_SYS_AUZ														
0Pest														
SI_SYPPRE														
ACS_vallée_CA82														

De manière générale, tous les systèmes ont respecté les contraintes fortes de non-utilisation fixées pour le GLY et/ou le SMOG. En revanche la possibilité d'une utilisation en ultime recours de ces molécules a entraîné des usages, occasionnels pour SI-SYPPRE (jusqu'en 2020), ou systématiques pour le système ACS_vallée_CA82 notamment pour le désherbage des cultures intermédiaires.

FOCUS – Stratégie de gestion des ray-grass en inter-culture sans GLY avec réintroduction ponctuelle du travail du sol – SI_SYPPRE

A partir de 2018, le glyphosate a été progressivement arrêté sur la plateforme pour le SI_SYPPRE, jusqu'à un arrêt total à partir de 2020. La gestion a été réalisée parcelle par parcelle, en fonction de la pression adventice et du contexte pédoclimatique.

Les densités de ray-grass montés en graines avant récolte ont globalement augmenté sur SI_SYPPRE. La densité de ray-grass du système REF_SYPPRE jusque-là maintenue, a commencé à dériver à partir 2023 et à se rapprocher de la densité moyenne des ray-grass du système SI_SYPPRE pour la même campagne. (Figure 3).

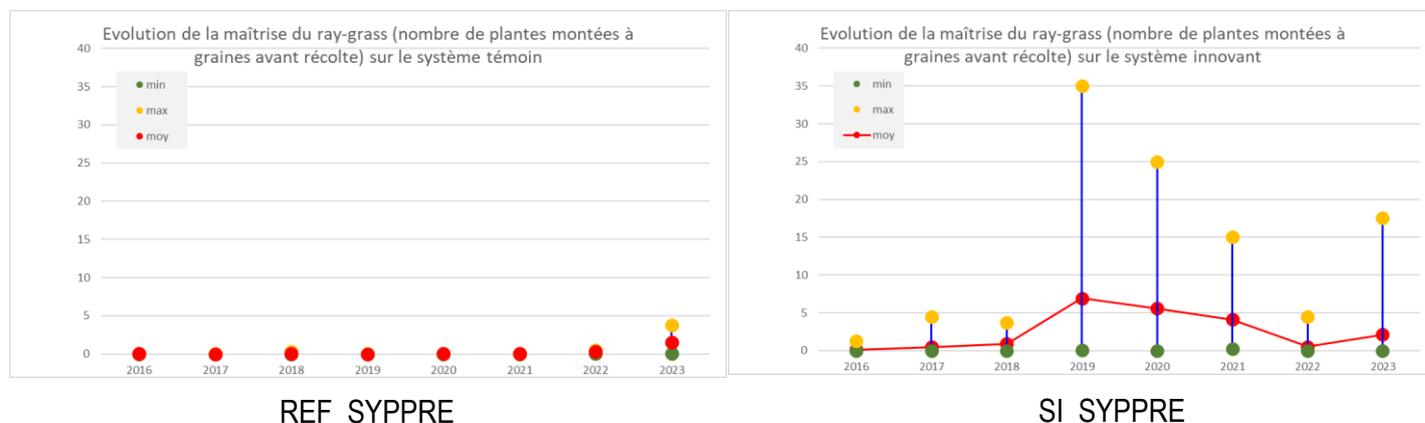


Figure 3 : Densité de ray-grass avant récolte (pl/m^2) dans le système innovant et le système témoin (source : E. DESCHAMPS, ARVALIS, 2024)



Afin de gérer la population de ray-grass sur SI_SYPPRE, des choix stratégiques ont été réalisés en fonction de :

- l'historique de chaque parcelle et les niveaux d'enherbement
- la présence de ray-grass résistants et leurs levées tout au long du cycle des cultures
- des problématiques d'érosion des sols dans un objectif de compromis entre performances de lutte contre le ray-grass (notamment résistant), préservation du capital sol et non utilisation du glyphosate.

La stratégie de gestion, les règles de décision ainsi que leurs effets recherchés sont présentés dans le Tableau 3.

Tableau 3 : Stratégie de gestion des Ray-Grass (RG) en interculture sans glyphosate sur le système SI_SYPPRE (DDI = déchaumeur à disques indépendants)



	Levier/Règle de décision	Effet recherché
1.	Sécurisation en prélevée	A la place d'un rattrapage car RG résistants
2.	Décalage date de semis	
3a.	Si culture propre → semis direct Si RG > 1/m ² → 1 à 2 passages de DDI puis semis en combiné	Eviter les repiquages éventuels + sécuriser la levée et la biomasse des couverts.
3b.	Densification des couverts	
4.	Si pas de biomasse ou présence de RG → DDI ou charrue déchaumeuse (16-18cm de profondeur) si problème de structure ou d'enherbement Si biomasse > 5TMS/ha → Ensilage, broyage + DDI	Déchaumeur scalpeur : scalper et déraciner les adventices et couverts en été/début automne Charrue déchaumeuse : lutter contre le ray-grass par enfouissement des graines à 6 cm de profondeur tout en limitant les risques érosifs.
5.	Semis en combiné	
6a.	Si biomasse > 2 TMS/ha → destruction début février Sinon destruction au plus tard 20j avant semis	Semer sur un sol propre
6b.	Broyeur + DDI nombre de passage en fonction du salissement	
7.	Vibroculteur	Affiner le lit de semence
8.	Semoir mono-graine	
9.	Binage	Elimination mécanique des adventices
10.	Herse étrille	Compléter le contrôle du RG sur les rangs

L'alternance de phases de semis direct et travail du sol semblent nécessaire à la gestion du ray-grass sans glyphosate, entraînant parfois des passages répétés liés aux difficultés de gestion de ray-grass développés et entraînant un risque de dégradation de la structure.

FOCUS – Stratégie de gestion des adventices sur culture de maïs sans SMOC - TCS_SYS_AUZ et nombre de passages à l'échelle des système ESC_SYS_AUZ

Tableau 4 : Stratégie de gestion des adventices sur culture de maïs sans SMOC - système

		semis ...	4F	6F	8F	10F	récolte
Houe rotative	Si beaucoup de résidus (x2 passages)						
Herse étrille	Si peu de résidus (x2 passages)						
Binage				1 à 2 passages	1 à 3 passages	1 passage	
Diméthénamide-P			Si forte présence d'adventices				

TCS_SYS_AUZ

La stratégie utilisée comprend un désherbage mixte : désherbage mécanique avant semis pour éliminer les résidus de la culture intermédiaire précédente ; désherbage chimique sous condition de présence d'adventices spécifiques (panic, vesce) et recours au binage systématique de 2 à 6 passages en fonction des campagnes à partir du stade 6 feuilles du maïs.

Sur la période 2019-2022, on observe, à l'échelle des systèmes, une augmentation moyenne de 2,5 passages d'outils par parcelle entre le système de référence (14,5), le système TCS_SYS_AUZ (17) et le système AB_SYS_AUZ (16,9). Le nombre de passages pour le système 0Pest (14,9) reste quant à lui assez similaire à celui du système de référence (Figure 4).

Concernant le travail du sol avec retournement, le recours au labour est similaire entre le système de référence et le système TCS_SYS_AUZ (respectivement 1,5 et 1,6 passages par parcelle en moyenne) et légèrement inférieur à la référence pour les systèmes AB_SYS_AUZ et 0Pest (respectivement 0,9 et 1) (Figure 4).

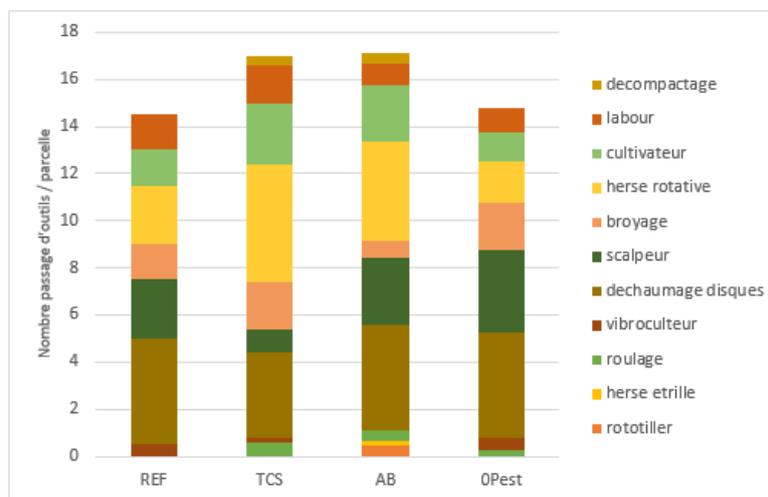


Figure 4 : Nombre de passage d'outils de travail du sol par parcelle en fonction des systèmes (ESC SYS_AUZ et 0Pest) sur la période 2019-2022

Pour le système TCS_SYS_AUZ comme pour le système AB_SYS_AUZ, une partie de ces résultats s'expliquent par le nombre de passages de la herse rotative qui double par rapport au système de référence (respectivement 5 ; 4,2 et 2,5 passages). L'utilisation du cultivateur est également plus importante (+1 passage en moyenne par rapport à la référence). Le recours de deux outils supplémentaires pour le système TCS_SYS_AUZ (décompactage et roulage) et de quatre outils pour le système AB_SYS_AUZ (décompactage, roulage, rototiller et herse étrille) participe également à l'augmentation du nombre de passages par rapport au système de référence (Figure 4).

En ce qui concerne les opérations de travail du sol profond, le décompacteur a été utilisé en moyenne 0,4 fois dans les systèmes TCS_SYS_AUZ et AB_SYS_AUZ tandis qu'il est absent du système de



référence et du système 0Pest. Le recours au cultivateur est plus important pour ces deux mêmes systèmes (respectivement 2,6 et 2,4 passages) que pour le système de référence (1,5) et 0Pest (1,3) (Figure 4).

3.3 Multi-performances des systèmes de culture innovants

Les calculs de performance ont été réalisés sur 4 campagnes (2019 à 2022) pour tous les systèmes excepté ACS_vallée_CA82 pour lequel les calculs ont été réalisés sur 6 campagnes (2018-2023). Les performances de chaque système de culture innovant ont été comparés à leur système de référence (Tableau 5).

Tableau 5 : Résultats et niveau de satisfaction des expérimentateurs vis-à-vis des performances multicritères des systèmes de culture innovants (vert=satisfaisant ; jaune=moyennement satisfaisant ; rouge= insatisfaisant).

	Efficiéce économique des intrants	Marge semi-nette (€/ha)	Indépendance vis-à-vis des aides (%)	Temps de travail moyen (h/ha)	Consommation moyenne en carburant (L/ha)	Bilan azoté (kg d'N/ha)
REF_SYS_AUZ	2,4	620	35	3	45	190
TCS_SYS_AUZ	1,5	252	31	7	116	182
AB_SYS_AUZ	1,9	677	45	6	101	2
0Pest	2,2	400	20	6	100	-38
REF_SYPPRE	3,1	1144	81	6	80	40
SI_SYPPRE	1,8	700	71	5	97	14
ACS_vallée_CA82	0,9	638	23	11	53	47

3.3.1 Les systèmes économes en pesticides et en travail du sol sont-ils rentables ?

ESC SYS_AUZ

L'efficiéce économique est satisfaisante pour l'ensemble des systèmes. La MSN est plus importante pour le système AB_SYS_AUZ (677 €/ha) que pour le système de référence (620 €/ha), 0Pest (400€/ha) et TCS_SYS_AUZ (252 €/ha). Le système 0pest est par ailleurs le plus dépendant aux aides (Tableau 5).

De manière générale concernant les rendements, même s'ils s'en approchent pour certains systèmes (blé tendre dans TCS_SYS_AUZ, pois chiche et soja dans 0Pest), les objectifs de rendement ne sont globalement pas atteints. Quels que soient les systèmes, on observe également une forte variabilité des rendements pour les cultures suivantes : maïs, orge/pois et blé dur (0Pest) (Tableau 6).

Les charges liées aux semences sont supérieures pour les systèmes innovants par rapport au système de référence (146 ± 32 €/ha en moyenne pour la référence contre 251 ± 13 €/ha pour 0Pest, 332 ± 38 €/ha pour AB_SYS_AUZ et 274 ± 114 €/ha pour TCS_SYS_AUZ). Les charges de mécanisation sont également plus importantes dans les systèmes innovants (313 €/ha pour TCS_SYS_AUZ ; 323 €/ha pour AB_SYS_AUZ et 288 €/ha pour 0Pest) que dans le système de référence (261 €/ha). Les charges de fertilisation sont équivalentes entre les systèmes (Figure 5).



ESC SYPPRE

L'efficacité économique est globalement satisfaisante pour les 2 systèmes même si l'efficacité du système de référence est supérieure à SI_SYPPRE (3,1 et 1,8 respectivement). La MSN est globalement inférieure sur SI_SYPPRE par rapport au système de référence (1144 et 700 €/ha respectivement). Les 2 systèmes sont relativement indépendants vis-à-vis des aides (Tableau 5).

Les rendements de toutes les cultures sont globalement proches des objectifs de rendement que ce soit pour le système de référence ou pour SI_SYPPRE avec globalement peu de variabilité sauf pour la culture de sorgho (Tableau 6).

Concernant les charges, on observe une baisse pour le poste fertilisation entre le système de référence et SI_SYPPRE (-57 €/ha) et une augmentation des charges de produits phytosanitaires (+16 €/ha) et des charges de mécanisation (+55 €/ha). L'augmentation la plus forte réside dans les charges de semences (+144 €/ha) (Figure 5).

OP ACS_vallée_CA82

Le système obtient une faible efficacité économique (0,9) et reste relativement dépendant des aides (Tableau 5).

Concernant les rendements, les objectifs ne sont globalement pas atteints. On observe également une forte variabilité pour l'ensemble des cultures du système (Tableau 6). A noter l'échec de la culture de colza durant la période d'expérimentation majoritairement dû aux conditions climatiques défavorables à l'implantation et à une forte pression des ravageurs (mélégèthes en particulier).

En ce qui concerne les charges, le poste le plus important est attribué aux charges mécaniques (249 €/ha) suivi des charges de semences (180 €/ha), des charges de fertilisation (150 €/ha), des charges phytosanitaires (121 €/ha) et enfin des charges liées à l'irrigation (50 €/ha) (Figure 4).

Tableau 6 : Rendement moyen annuel par culture dans les systèmes étudiés (objectif de rendement)

Système	REF_SYS_AUZ	TCS_SYS_AUZ	AB_SYS_AUZ	0Pest	REF_SYPPRE	SI_SYPPRE	ACS_vallée_CA82
Blé dur	49 ± 11 (65)			31 ± 12 (45)	65 ± 7 (70)	65 ± 16 (70)	
Tournesol	20 ± 3 (35)	19 ± 6 (35)			28 ± 6 (30)	27 ± 6 (30)	
Blé tendre		58 ± 18 (60)	35 ± 7 (55)	41 ± 9 (57)		58 ± 18 (60)	51 ± 22 (55)
BAF							38 ± 20 (55)
Maïs grain		40 ± 21 (70)	50 ± 21 (70)				83 ± 45 (110)
Pois chiche		11 ± 5 (20)		17 ± 4 (20)		20 ± 8 (20)	
Orge			27 ± 0 (40)				50 ± 22 (60)
Orge/Pois			28 ± 13 (40)				
Pois d'hiver						32 ± 14 (45)	17 ± 13 (35)
Sarrasin			1 ± 1 (5)				
Soja			19 ± 9 (25)	21 ± 5 (25)			Dérobé 9 ± 9 (20)
Colza						31 ± 4 (35)	0 (29)
Sorgho						52 ± 22 (60)	

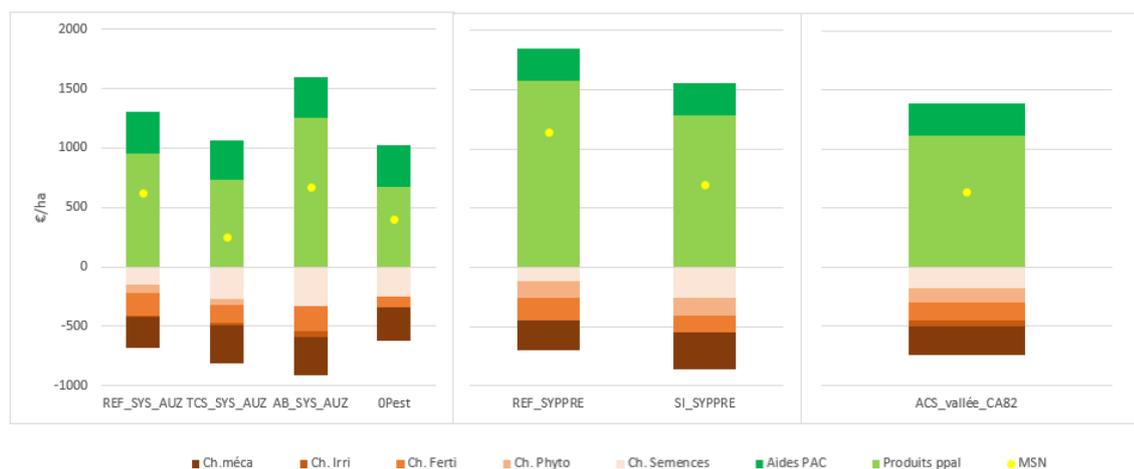


Figure 4 : Composition moyenne annuelle de la marge semi-nette en fonction des systèmes de culture.

3.3.2 Les systèmes peuvent-ils être conduits sans augmenter le temps de travail ni la consommation de carburant ?

ESC SYS_AUZ

Le temps de travail du système de référence (3 h/ha) est globalement inférieur à celui des systèmes innovants (7 h/ha pour TCS_SYS_AUZ et 6 h/ha pour AB_SYS_AUZ et 0Pest). En termes de consommation de carburant, le système TCS_SYS_AUZ est le plus consommateur (116 L/ha) suivi du système AB_SYS_AUZ (101 L/ha), du système 0Pest (100 L/ha) et enfin du système de référence (45 L/ha) (Tableau 5).

ESC SYPPRE

Le temps de travail du système de référence est globalement supérieur à celui du système innovant (respectivement 5,6 et 4,8 h/ha). En termes de consommation de carburant, le système innovant consomme 17 L/ha de plus que le système de référence (97 L/ha contre 80 L/ha) (Tableau 5).

3.3.3 Quel impact de ces systèmes sur le bilan azoté ?

ESC SYS_AUZ

Le système de référence et le système TCS sont excédentaires (respectivement 190 et 182 U d'N). Les systèmes AB et 0Pest sont quant à eux à l'équilibre voire déficitaire pour le système 0Pest (respectivement 1 et -38 kg d'N/ha) (Tableau 5).

ESC SYPPRE et ACS_vallée CA82

Les systèmes REF_SYPPRE, SI_SYPPRE et ACS_vallée_CA82 sont excédentaires en azote (respectivement 40, 17 et 46 kg d'N/ha) (Tableau 5).

4. Discussion et Perspectives

Les objectifs de réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires sont partiellement atteints car même si une diminution est observée de 4 à 45 % en fonction des systèmes (hors AB et 0 phyto), elle n'atteint jamais une réduction de 50% comparativement aux références testées. Il faut toutefois nuancer ce résultat pour l'ESC_SYS_AUZ sur laquelle le système de référence (REF_SYS_AUZ) est à niveau très bas d'utilisation de pesticides. En comparant les valeurs d'IFT du système TCS_SYS_AUZ aux données régionales, la baisse de 50 % est bien atteinte. Par ailleurs, si la suppression de certains traitements



fongicides et insecticides sur certaines cultures (blé dur, tournesol) semble relativement facile à mettre en œuvre, la diminution des herbicides restent encore compliquée selon les systèmes, notamment ceux visant une réduction du travail du sol, ce qui rejoint les conclusions d'autres travaux (Adeux *et al.*, 2019; Alletto *et al.*, 2022; Neve *et al.*, 2024). Dans des systèmes proches des pratiques agriculteurs (ACS_vallée_CA82) avec un double objectif fort de passage en ACS en réduisant le plus possible le recours au glyphosate et dans un contexte de stock semencier historiquement important, on constate que la dépendance au GLY reste difficile à lever, mais la possibilité d'utilisation en ultime recours de cette molécule peut également conduire à ne pas tester des ruptures plus fortes (Butault *et al.*, 2010). Ce constat soulève l'importance de l'accompagnement au changement de pratiques, dans un processus en plusieurs étapes et sur un pas de temps long afin de répondre aux objectifs visés (Moneyron *et al.*, 2017; Penvern *et al.*, 2019; Meynard *et al.*, 2023; Andrieu *et al.*, 2024).

Dans les systèmes conventionnels qui visent la suppression du GLY et du SMOC (TCS_SYS_AUZ ; SI_SYPPRE) on constate que l'arrêt de l'utilisation de ces molécules induit la réintroduction ponctuelle du travail du sol et une augmentation du nombre de passages des opérations de travail du sol et de désherbage mécanique. Cette réintroduction du travail du sol est antagoniste avec l'objectif de réduction à l'échelle de ces systèmes et provoque une incertitude systématique sur le nombre de passages et donc sur la gestion du temps de travail qui en découle pour les cultures concernées.

Dans les systèmes à plus fort niveau de rupture sur la réduction des pesticides (AB_SYS_AUZ et 0Pest), on constate des résultats économiques intéressants à conditions que les productions soient valorisées à des prix plus importants qu'en conventionnel. Techniquement ce type de système nécessite d'avoir accès à un parc matériel diversifié et de prévoir un nombre de passage globalement supérieur à des systèmes de référence blé/tournesol, ce qui impacte négativement les bilans GES.

Les leviers mobilisés, le plus souvent en combinaison, pour la gestion des adventices sans SMOC ni GLY ont montré des niveaux d'efficacité différents et soulèvent certaines limites. La diversification et l'allongement de la rotation joue un rôle important sur l'enherbement (Adeux *et al.*, 2019; Alletto *et al.*, 2022), mais n'est parfois pas suffisant pour garantir une gestion des bioagresseurs tout en réduisant l'utilisation de pesticides. L'intégration de colza dans la rotation par exemple, ajoute de la diversité et une alternance des cultures mais augmente le nombre de traitement phyto à l'échelle du système (SI_SYPPRE). Cette diversification a également pour conséquence une augmentation de l'utilisation d'outils de destruction et de préparation du sol consommateurs en carburants. L'augmentation des charges de mécanisation qui en découle dans les systèmes innovants varie d'un système à l'autre et semble être partiellement compensée par l'utilisation d'outils de travail du sol moins profonds et par la réduction du nombre de passage d'outils de pulvérisation. Le décalage de date de semis des céréales à paille est parfois antagoniste avec la non-utilisation du GLY, car les périodes permettant une gestion mécanique des repousses se réduisent avec ce décalage. Par exemple en sol argileux et en conditions humides, le décalage de la date de semis peut parfois s'avérer contre-productif dans la gestion des ray-grass à cause des risques de repiquages. Lorsqu'ils sont bien développés, les couverts permettent une concurrence au ray-grass qui est alors moins développé et plus facilement gérable par des outils mécaniques (Adeux *et al.*, 2017). Pour l'ensemble des systèmes l'ayant mobilisé, le binage s'avère être un levier efficace pour la gestion des adventices dans la limite des cultures adaptées et des conditions climatiques, ce qui est cohérent avec d'autres résultats obtenus dans la région (Giuliano *et al.*, 2016). La réintroduction ponctuelle de la charrue déchaumeuse a eu un effet positif sur la gestion des adventices, notamment du ray-grass (SI_SYPPRE), tout en limitant le recours aux herbicides.

La suppression du SMOC et du GLY implique la mobilisation de différentes stratégies de gestion des adventices, allant de la substitution chimique au 100% mécanique en passant par du désherbage mixte. La mise en œuvre de ces stratégies de gestion nécessite une bonne maîtrise technique, une forte adaptabilité et de la réactivité vis-à-vis des conditions pédoclimatiques pour garantir sa réussite et éviter les dérives (telles que le développement de chardons comme observé dans 0Pest). L'ajustement des



stratégies et des règles de décision qui en découle pour gérer les adventices sur certaines cultures rend imprévisible le temps de travail sur ces cultures et pourrait fragiliser leur place dans les assolements.

Les performances économiques sont globalement supérieures pour les systèmes de référence et pour les systèmes conduits en AB en comparaison aux autres systèmes. Ces résultats s'expliquent principalement par la présence de cultures comme le pois, pois chiche, soja et sorgho qui sont mal valorisées (prix conventionnel) dans ces systèmes et donc moins rentables (Bonnet *et al.*, 2021) contrairement au système en AB (avec les prix de la période concernée). La valorisation de ces cultures en conventionnel ne permet globalement pas de compenser la perte de surface du blé dur dans la rotation par rapport au système de référence. Le poids des charges de semence (cultures et couverts) est non négligeable et expliquent aussi l'efficacité économique inférieure des systèmes innovants par rapport au système de référence. A noter que la suppression des charges phytosanitaires pour les systèmes AB et 0Pest ne compense pas les charges de semences qui augmentent, ce qui pourrait être atténué en développement des stratégies d'utilisation de semences fermières. La valorisation des produits conduits en 0 phyto et le développement des filières de production de semences (cultures et couverts) constituent une piste intéressante pour contribuer à la durabilité de ces systèmes.

Le dérèglement climatique a également un fort impact sur la réussite des cultures, certaines années climatiques étant défavorables à l'implantation et au développement de certaines cultures avec des automnes/hivers très humides (pour les céréales, pois, pois chiche) suivis de printemps/étés très secs (pour le tournesol, sorgho).

Concernant la gestion de l'azote, on constate un bilan azoté variable d'un système à l'autre mais globalement toujours excédentaires sauf pour le système AB_SYS_AUZ qui est presque à l'équilibre. Ces bilans s'expliquent par la présence de légumineuses dans la rotation qui ont obtenu de bons rendements en particulier pour le système en AB. Le système 0Pest ayant reçu moins d'engrais organiques que le système AB pour des rendements de légumineuses équivalents à la référence, obtient un bilan plus déficitaire. Les bilans excédentaires s'expliquent par des apports en azote minéral et organique conséquents (équivalent de 12 t/ha de compost pour l'ESC SYS_AUZ) et pas toujours bien valorisés par le rendement des cultures ainsi que la biomasse restituée au sol après chaque récolte. Sur le système SI_SYPPRE, la mise en œuvre d'une rotation diversifiée avec présence de légumineuses en culture ou dans les couverts d'interculture a permis de diminuer globalement l'apport de fertilisation sur les cultures et a permis de diviser par plus de deux le bilan azoté. La mise en œuvre d'un pilotage de la fertilisation azotée sur les espèces permet d'accentuer cette baisse de fertilisation. Pour aller plus loin dans ce pilotage, des méthodes innovantes de raisonnement des apports d'N, basées par exemple sur des mesures en culture et un ajustement des apports au potentiel de rendement (Ravier *et al.*, 2017; Ravier *et al.*, 2018), seraient une piste prometteuse.

5. Conclusion

L'étude met en évidence la difficulté de concilier des objectifs forts de diminution de l'utilisation de pesticides, de réduction de travail du sol et la multiperformance.

La diminution de l'IFT est très variable d'un système innovant à l'autre par rapport à leur référence (de -4% pour SI_SYPPRE à -45% pour TCS_SYS_AUZ). De plus, cette diminution s'explique majoritairement par une réduction de l'utilisation des fongicides et des insecticides. La diminution du recours aux herbicides et en particulier du glyphosate dans certains systèmes reste difficile, en particulier pour des systèmes qui ont un objectif fort de réduction de travail du sol et qui autorisent l'utilisation d'herbicides en ultime recours, mais pour lesquels leur utilisation devient la norme. Dans d'autres systèmes, l'introduction de cultures de diversification (colza) dans la rotation a complexifié la diminution de l'IFT (SI_SYPPRE). Dans les systèmes ayant le plus fortement diminué leur IFT, l'arrêt du GLY et du SMOC a induit une réintroduction ponctuelle du travail du sol et une augmentation du nombre de



passages (travail du sol et désherbage), pratiques antagonistes avec les objectifs de départ de réduction de travail du sol et qui induisent une variabilité du temps de travail difficile à anticiper.

En termes de stratégies de gestion, la combinaison de leviers de désherbage chimique et mécanique a permis de contenir les adventices (en particulier les graminées) dans les systèmes TCS_SYS_AUZ et SI_SYPPRE. Ce type de stratégies nécessite par ailleurs une bonne maîtrise technique, de l'adaptabilité et une forte réactivité. Dans les systèmes avec un stratégie 100% mécanique, des dérives ont été observées notamment vis-à-vis du chardon dans le système OPest.

Enfin concernant les performances, les systèmes de références et le système conduit en AB obtiennent les performances économiques les plus importantes. Ces résultats s'expliquent premièrement par le poids des charges de semences des cultures et des couverts introduits pour diversifier la rotation des systèmes innovants ainsi que celui des charges de mécanisation suite à l'augmentation du nombre de passages, qui ne compensent pas la diminution des charges de produits phytosanitaires et de fertilisation dans ces systèmes. Les rendements satisfaisants et la valorisation économique des productions en AB sur la période de l'étude expliquent également les résultats économiques de AB_SYS_AUZ.

Les enseignements du projet soulignent l'importance pour les systèmes cherchant à atteindre des objectifs forts de réduction d'utilisation de pesticides et de travail du sol, de trouver un compromis à la fois dans les stratégies de gestion et dans la multiperformance. Un processus par étape, sur un pas de temps long et un accompagnement approprié sont autant de clés pour réussir à atteindre les objectifs dans ces systèmes.

Dans un contexte de retrait progressif des certaines molécules, une des pistes pour réduire à la fois l'utilisation de pesticides et le travail du sol serait d'aller vers des systèmes à fort niveau de rupture (0 phyto) en expérimentant la diminution progressive du travail du sol pour tendre vers des systèmes en agriculture biologique de conservation des sols et en travaillant sur la bonne valorisation des productions qui y sont associées.

Ethique

Les auteurs déclarent que les expérimentations ont été réalisées en conformité avec les réglementations nationales applicables.

Déclaration sur la disponibilité des données et des modèles

Les données qui étayent les résultats évoqués dans cet article sont accessibles sur demande auprès de l'auteur de correspondance de l'article.

Déclaration relative à l'Intelligence artificielle générative et aux technologies assistées par l'Intelligence artificielle dans le processus de rédaction.

Les auteurs n'ont pas utilisé de technologies assistées par intelligence artificielle dans le processus de rédaction.

Contributions des auteurs

Mélanie LOBIETTI : administration du projet, analyse formelle, rédaction ébauche originale - Lionel ALLETTO : conceptualisateur, acquisition de fonds, rédaction-révision - Gilles TISON : enquête, analyse formelle, rédaction-révision- Paul FAUCHER : analyse formelle - Eva DESCHAMPS : enquête, analyse formelle, rédaction-révision - Lucas BONTEMPI : enquête, analyse formelle - Céline GUILLEMAIN : enquête, analyse formelle

Déclaration d'intérêt

Les auteurs déclarent ne pas travailler, ne conseiller, ne pas posséder de parts, ne pas recevoir pas de fonds d'une organisation qui pourrait tirer profit de cet article, et ne déclarent aucune autre affiliation que celles citées en début d'article.



Remerciements

Nous remercions tous les expérimentateurs d'ARVALIS, en particulier Anthony Cazaban, et Jean-Luc Verdier et d'INRAE (Laura Cipolla, Clément Lemouzy, Eric Bazerthe, Patrice Rouet) qui ont participé à ce projet ainsi que les personnes en appui à la valorisation de ces résultats (Nicolas Rogier (stagiaire), Manon Pull (INRAE)).

Déclaration de soutien financier

Action du plan Ecophyto piloté par les ministères en charge de l'agriculture, de l'écologie, de la santé et de la recherche, avec l'appui technique et financier de l'Office français de la Biodiversité.

Références bibliographiques :

- Adeux, G., Giuliano, S., Cordeau, S., Savoie, J.M., Alletto, L., 2017. Low-Input Maize-Based Cropping Systems Implementing IWM Match Conventional Maize Monoculture Productivity and Weed Control.
- Adeux, G., Guinet, M., Courson, E., Lecaille, S., Munier-Jolain, N., Cordeau, S., 2022. Multicriteria assessment of conservation agriculture systems. *Frontiers in Agronomy* 4.
- Adeux, G., Munier-Jolain, N., Meunier, D., Farcy, P., Carlesi, S., Barberi, P., Cordeau, S., 2019. Diversified grain-based cropping systems provide long-term weed control while limiting herbicide use and yield losses. *Agronomy for Sustainable Development* 39.
- Alletto L., Coquet Y., Benoit P., Heddadj D., Barriuso E. 2010. Tillage management effects on pesticide fate in soils. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 30: 367-400.
- Alletto, L., Vandewalle, A., Debaeke, P., 2022. Crop diversification improves cropping system sustainability: An 8-year on-farm experiment in South-Western France. *Agricultural Systems* 200, 103433.
- Andrieu, N., Dorey, E., Lakhia, S., Meynard, P., Hatil, E., Normand, L., Gourdine, J.L., Bambou, J.C., 2024. Introducing sheep for agroecological weed management on banana plantations in Guadeloupe: A co-design process with farmers. *Agricultural Systems* 213.
- Barberi P., Mazzoncini M. 2001. Changes in weed community composition as influenced by cover crop and management system in continuous corn. *Weed Science*, 49 : 491-499. Blackshaw, R.E., Anderson, R.L., Lemerle, D. 2007. 3 Cultural Weed Management. *Non-chemical Weed Management* 35.
- Bonnet, C., Gaudio, N., Alletto, L., Raffillac, D., Bergez, J.E., Debaeke, P., Gavaland, A., Willaume, M., Bedoussac, L., Justes, E., 2021. Design and multicriteria assessment of low-input cropping systems based on plant diversification in southwestern France (vol 41, 65, 2021). *Agronomy for Sustainable Development* 41.
- Butault, JP., Dedryver, CA., Gary, C., Guichard, L., Jacquet, F., et al.. *Écophyto R&D : Quelles voies pour réduire l'usage des pesticides ? Résumé de l'étude.* [Rapport de recherche] INRA; Ecophyto. 2010, 8 p. hal-03277913
- Giuliano, S., Ryan, M.R., Vericel, G., Rametti, G., Perdrieux, F., Justes, E., Alletto, L., 2016. Low-input cropping systems to reduce input dependency and environmental impacts in maize production: A multicriteria assessment. *European Journal of Agronomy* 76, 160-175.
- Labreuche, J., Laurent F., Roger-Estrade J. 2014. *Faut-il travailler le sol ? : Acquis et innovations pour une agriculture durable.* Editions Quae, 194p.
- Longueval, C., Rodriguez A., Blazian MJ., Eschenbrenner G., Berrodier M., Huntz B., Abella M., Hypolite S., Lecomte V. Alletto L., Doublet S. 2012. CASDAR TTSI – Mise au point de Techniques Très Simplifiées d'Implantation pour améliorer la durabilité des systèmes de grandes cultures dans le Sud-Ouest. Synthèse du programme, 16p. *notre-environnement*, 2023 <https://www.notre-environnement.com>



environnement.gouv.fr/themes/sante/les-produits-chimiques-ressources/article/pesticidesMASA, 2023
<https://agriculture.gouv.fr/indicateur-de-frequence-de-traitements-phytosanitaires-ift>

Mazoyer M., Roudart L. 1997. Histoire des agricultures du monde. Du néolithique à la crise contemporaine. Editions du Seuil, Paris.

Gebhardt, M.R., Daniel, T.C., Schweizer, E.E., Allmaras, R.R., 1985. Conservation tillage. *Science* 230, 625-630.

Meynard, J.M., Cerf, M., Coquil, X., Durant, D., Le Bail, M., Lefèvre, A., Navarrete, M., Pernel, J., Perinelle, A., Perrin, B., Prost, L., Reau, R., Salembier, C., Scopel, E., Toffolini, Q., Jeuffroy, M.H., 2023. Unravelling the step-by-step process for farming system design to support agroecological transition. *European Journal of Agronomy* 150.

Moneyron, A., Lallemand, J.F., Schmitt, C., Perrin, M., Soustre-Gacougnolle, I., Masson, J.E., Lmc, Westhalten, G., 2017. Linking the knowledge and reasoning of dissenting actors fosters a bottom-up design of agroecological viticulture. *Agronomy for Sustainable Development* 37.

Neve, P., Matzrafi, M., Ulber, L., Baraibar, B., Beffa, R., Belvaux, X., Farré, J.T., Mennan, H., Ringselle, B., Salonen, J., Soukup, J., Andert, S., Duecker, R., Gonzalez, E., Hamouzova, K., Karpinski, I., Travlos, I.S., Vidotto, F., Kudsk, P., 2024. Current and future glyphosate use in European agriculture. *Weed Research* 64, 181-196.

Palm, C., Blanco-Canqui, H., DeClerck, F., Gatere, L., Grace, P., 2014. Conservation agriculture and ecosystem services: An overview. *Agriculture Ecosystems & Environment* 187, 87-105.

Penvern, S., Fernique, S., Cardona, A., Herz, A., Ahrenfeldt, E., Dufils, A., Jamar, L., Korsgaard, M., Kruczynska, D., Matray, S., Ozolina-Pole, L., Porcel, M., Ralle, B., Steinemann, B., Swiergiel, W., Tasin, M., Telfser, J., Warlop, F., Sigsgaard, L., 2019. Farmers' management of functional biodiversity goes beyond pest management in organic European apple orchards. *Agriculture Ecosystems & Environment* 284.

Ravier, C., Jeuffroy, M.H., Gate, P., Cohan, J.P., Meynard, J.M., 2018. Combining user involvement with innovative design to develop a radical new method for managing N fertilization. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 110, 117-134.

Ravier, C., Quemada, M., Jeuffroy, M.H., 2017. Use of a chlorophyll meter to assess nitrogen nutrition index during the growth cycle in winter wheat. *Field Crops Research* 214, 73-82.

Renard K.G. et al. (1997). Predicting soil erosion by water : a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). USDA agricultural research service, *Agriculture handbook number 703*, 384 p.

Pôle Economique et Prospective des Chambres d'Agriculture d'Occitanie, Chargés d'études Cerfrance, Région Occitanie, Agri'scopie Occitanie édition 2021, 56p. https://occitanie.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/National/FAL_commun/publications/Occitanie/Productions_techniques/AGRISCOPIE-crao2021.pdf



Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 4.0)

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue *Innovations Agronomiques* et son DOI, la date de publication.