



### Système TCS - ESC SYS\_AUZ - REDUCE

- Désherbage mécanique/thermique
- Diversification et allongement de la rotation
- Fertilité et vie des sols
- Lutte génétique
- Mélanges variétaux
- Stratégie de couverture du sol
- Travail du sol simplifié/nc

PARTAGER

Année de publication 2019 (mis à jour le 12 Avr 2024)

#### Carte d'identité du groupe



Structure de l'ingénieur réseau

**Conventionnel en transition vers l'agriculture de conservation de sols (ACS) sans glyphosate et sans S-métolachlore avec réduction des autres produits phytosanitaires**

Nom de l'ingénieur réseau

**REDUCE**

Date d'entrée dans le réseau

**ESC SYS\_AUZ**

**o glyphosate o  
SMOC Réduction  
des autres phytos**

Objectif de réduction visé

#### Présentation du système

Conception du système

En 2018, avec le démarrage des projets REDUCE et VACCARM, des ateliers de reconception se sont tenus impliquant des chercheurs (agronomes, modélisateurs), des techniciens, des agriculteurs. Leur but était d'ajuster les systèmes expérimentés aux projets et aux thématiques de l'UMR AGIR dans le contexte de l'arrêt de l'usage du glyphosate et de réduction du travail du sol

S'appuyant sur l'expérience issue des projets de recherche qui ont précédé sur le domaine expérimental (légumineuses à bas niveau d'intrants (LGBI), l'ANR MicMac-design, Eco-puissance-4), il se place dans la transition vers l'Agriculture de Conservation des Sols (ACS) sans glyphosate et sans SMOC (S-métolachlore).

Pour ce faire, le système « TCS » actionne des leviers tels que l'allongement de la rotation, l'utilisation de légumineuses en culture principale et en CIMS (Culture Intermédiaire Multi-Servic mécanique superficiel, le décalage des dates de semis, l'utilisation de variétés multi-tolérantes seules ou en mélange et l'enrichissement du sol en matière organique.

**Mots clés :**  
*Réduction du travail du sol - 0 glyphosate - 0 SMOC - Tendre vers ACS*

Caractéristiques du système



**Rotation :** La rotation du système est menée sur quatre ans et propose une culture d'hiver, une culture d'été et deux cultures d'été à cycle décalé (pois chiche et maïs dry). Le système TCS a été expérimenté sur quatre parcelles du dispositif (parcelles IA, ID, IH et II).

**Interculture :** Cultures intermédiaires systématiques sur toutes les intercultures longues. Entre le pois chiche et le maïs : une succession des deux intercultures : (1) sorgho fourrager, en été ; (2) féverole, navette, vesce pourpre et phacélie, en automne. Le choix des espèces des CIMS a pu varier au cours de l'expérimentation.



**Gestion de l'irrigation :** Limitation de l'utilisation de l'irrigation.

**Fertilisation :** Engrais minéraux sur le maïs, le tournesol et le blé tendre. Epandage ponctuel de compost à base de déchets verts.

**Travail du sol :** Travail du sol superficiel, labour en ultime recours.

**Infrastructures agro-écologiques :** Bandes enherbées autour des parcelles.

Objectifs ▲

Agronomiques	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rendement : (en q/ha)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ maïs : 70</li> <li>◦ tournesol : 35</li> <li>◦ blé tendre : 60</li> <li>◦ pois chiche : 20</li> <li>◦ soja : 25</li> </ul> </li> <li>• Qualité commerciale : taux de protéines (toutes les cultures), taux de mycotoxines (céréales)</li> </ul>
Environnementaux	<ul style="list-style-type: none"> <li>• IFT : 0 glyphosate, 0 SMOC, réduction des autres produits phytosanitaires</li> <li>• Tendre vers le 0 travail du sol (suppression du travail profond)</li> </ul>
Maîtrise des bioagresseurs	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maîtrise des adventices : pas d'impact sur le rendement ni sur la culture suivante</li> <li>• Maîtrise des maladies : tolérance des maladies avec peu ou pas d'impact sur le rendement (faible nuisibilité sur le rendement et la qualité des grains)</li> <li>• Maîtrise des ravageurs : peu de problème sur céréales, tolérance minimum sur les autres cultures (bio-contrôle)</li> </ul>
Socio-économiques	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marge brute : 90% de la rotation de référence "blé dur-tournesol" à l'échelle du système de culture</li> <li>• Temps de travail : diminuer le travail du sol par rapport à la référence "blé dur-tournesol" à l'échelle du système de culture</li> </ul>

Gestion des herbicides : modulation de la dose d'herbicide à appliquer en fonction de la présence des adventices.

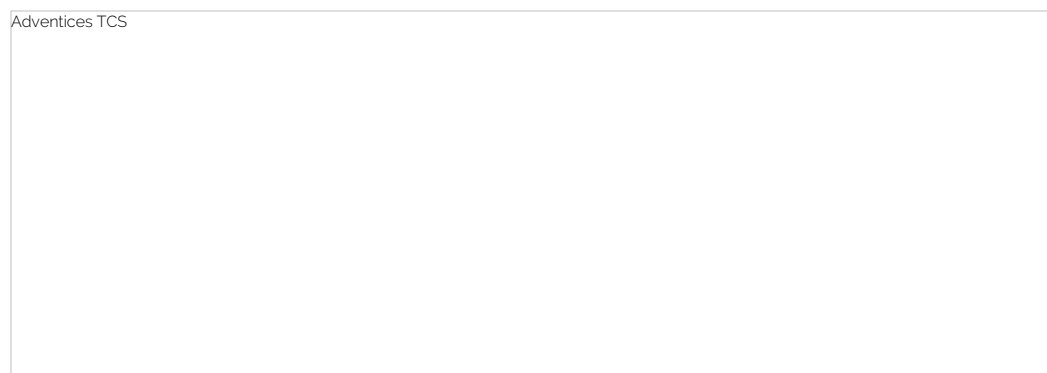
Le mot de l'expérimentateur

Texte à compléter

**Stratégies mises en œuvre :**

Gestion des adventices ▲

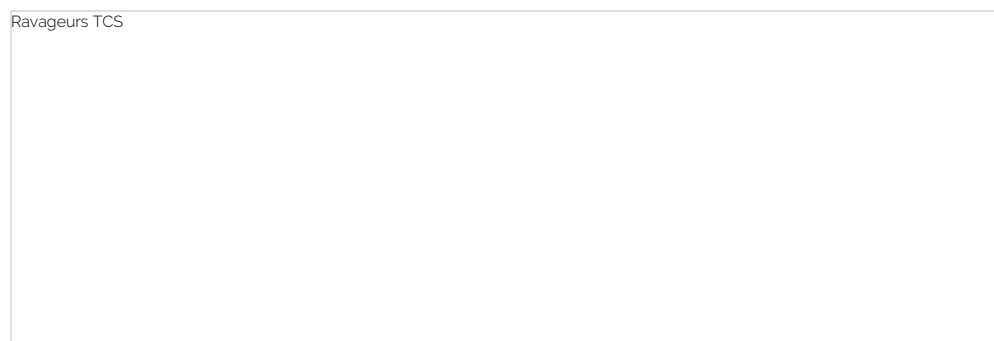
Seuls les principaux leviers mis en œuvre dans le cadre de l'expérimentation et permettant une réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires sont présentés sur ce schéma.



Leviers	Principes d'action	Enseignements
Désherbage mécanique	Désherbage mécanique en culture à l'automne et au printemps suivant la météo (houe rotative, herse étrille et bineuse) : détruire les adventices en culture sans détruire la culture.	Ce levier a permis de globalement réduire le recours aux herbicides à l'échelle de la rotation, avec une efficacité satisfaisante, mais au prix d'une augmentation des passages dans la parcelle. Le rattrapage possible avec d'une sécurité.
Faux semis en interculture	Faire lever les adventices en interculture et les détruire avant le semis.	Efficacité difficile à estimer.
Diversification des cultures	Diversification des périodes de semis. Alternance cultures hiver et été, dicotylédones et graminées afin de contrôler les flores adventices de printemps et d'hiver.	Efficacité difficile à estimer.
Introduction de couverts en interculture	Par leur développement, les couverts vont concurrencer les adventices durant l'interculture.	Au cours de l'expérimentation, peu de couverts ont été suffisamment denses pour jouer ce rôle. Le seul cas d'une quantité de biomasse intéressante et ainsi une limitation du développement des adventices est le couvert f.) - féverole - phacélie - vesce semé avant le maïs en 2021 et avant le tournesol en 2022.

Gestion des ravageurs ▲

Seuls les principaux leviers mis en œuvre dans le cadre de l'expérimentation et permettant une réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires sont présentés sur ce schéma.



Leviers	Principes d'action	Enseignements
Semis tardif	Décalage de la date de semis du blé tendre en fin d'automne/début hiver pour éviter la pression des pucerons d'automne.	Ce levier a pu être mobilisé lors de chaque campagne. Il n'y a pas eu de pression des pucerons relevée sur le blé tendre.
Semis dans des conditions favorables à une levée rapide	Développement rapide des plantes, les rendant moins sensibles aux attaques de volatiles au semis.	Lorsque ce levier a bien été mobilisé sur le tournesol, il a permis de se prémunir des dégâts de volatiles à la levée. cibler la fenêtre de semis dont les conditions permettent un développement rapide des plantes. Cette fenêtre est généralement tardive en mai voire fin mai mais potentiellement plus précoce les années exceptionnelles comme 2022.
Mise en place d'effaroucheurs	Lutte physique contre les volatiles au semis.	Ce levier n'a pas suffi sans autres leviers supplémentaires, notamment sur le maïs et le tournesol où des dégâts de volatiles ont été fréquemment observés.
Biocontrôle - Mise en place des trichogrammes	Les trichogrammes, une fois lâchés dans la parcelle, pondent dans les œufs de pyrales qui ne peuvent donc plus causer de dégâts à la culture de maïs.	Ce levier a été une réussite pour lutter contre la pyrale du maïs, sauf en 2019.

L'utilisation de fongicides a été très rare au cours de l'expérimentation (1,75 IFT au total sur maïs et 0,8 au total sur tournesol).

#### Gestion des maladies ▲

Au cours de cette expérimentation, les maladies n'ont globalement pas posé problème pour la réussite des cultures du système TCS. Il est cependant difficile d'affirmer avec certitude que les leviers soient totalement responsables de ce résultat étant donné que des traitements fongicides ont été utilisés notamment sur le blé et le maïs. Les principaux leviers mobilisés (hors traitements chimiques) des maladies sont :

- Le choix de variétés résistantes/ tolérantes
- Le mélange variétal, levier mobilisé sur le blé tendre en 2019, 2020
- Le choix d'espèces assez peu sensibles aux maladies (pois chiche, tournesol)
- L'allongement de la rotation : augmenter le temps de retour d'une même culture sur une parcelle

Le levier du profil variétal a permis de réduire l'utilisation de fongicide en pulvérisation sur le blé tendre.

#### Performances du système

### Performances agronomiques :

Rendements système TCS et satisfaction

Culture	Objectif de rendement	2019	2020	2021	2022
<b>Pois chiche</b>	20 q/ha	14,2 (19)	4,2 (23)	14,7	11,5
<b>Mais dry</b>	70 q/ha	28,1	21,9	69,3	39,5
<b>Tournesol</b>	35 q/ha	19,1 (22)	23,1 (19)	24 (26)	11,7 (17)
<b>Blé tendre</b>	60 q/ha	61,9 (61)	57,1 (43)	77,9 (48)	35,1 (44)

() référence Occitanie en conventionnel.

Le code couleur indique le niveau de satisfaction, défini en fonction de l'atteinte de l'objectif initial et de la référence régionale :

vert = satisfaisant ; orange = moyennement satisfaisant ; rouge = non satisfaisant

En terme de rendement, le bilan est assez mauvais pour le pois chiche : l'objectif de rendement n'a jamais été atteint sur les quatre campagnes. Ces résultats décevants s'expliquent principalement par des mauvaises conditions d'implantation (trop humides en 2020), le pois chiche y étant très sensible, et d'autre part à cause des périodes de sécheresse durant le cycle, en 2019 et 2022, conjuguées à la limitation de l'utilisation de l'irrigation.

Les rendements obtenus pour le maïs dry sont globalement faibles et variables d'une année à l'autre avec une bonne année, deux mauvaises et une lors de laquelle la culture a été détruite rarement été atteint à cause des conditions pédoclimatiques (sécheresse en 2019, hydromorphie en 2020, coup de froid au semis en 2022) et des dégâts de volatiles. La présence de CIMS et le optimale a été un facteur aggravant en 2022. De plus, le maïs dry a été assez impacté par les conditions très sèches sans ou avec peu d'irrigation au moment de la floraison. En effet, le maïs dry n'a pas pu profiter de son cycle décalé par rapport à un maïs classique étant donné que les périodes de sécheresse et de fortes chaleurs sont intervenues précocement notamment en 2019 et 2020.

En termes de rendement, le bilan est correct pour le tournesol, notamment par rapport aux références régionales. Hormis les conditions climatiques qui ont été globalement difficiles, en particulier dans le contexte de limitation de l'irrigation, le principal problème qui a impacté le tournesol a été les attaques de volatiles au semis en 2019 et 2022.

Les rendements obtenus par le blé tendre sont globalement très bons au cours des quatre années d'expérimentation notamment par rapport aux références régionales. Le résultat de 2022 est correct, mais reste correct étant donné les dégâts importants de lapins à la levée et les conditions exceptionnellement sèches qui ont impacté les rendements des cultures, quel que soit leur type, d'autant plus dans un contexte de limitation de l'irrigation.

### Performances économiques :

Les performances économiques seront discutées en même temps que les indicateurs économiques dans la section 'Evaluation multicritère' ci-après.

### Performances environnementales :

Les performances environnementales seront discutées en même temps que les indicateurs environnementaux dans la section 'Evaluation multicritère' ci-après.

Plus de détails pour cette expérimentation sont disponibles dans la synthèse technique (document PDF téléchargeable ; cf haut de la page).

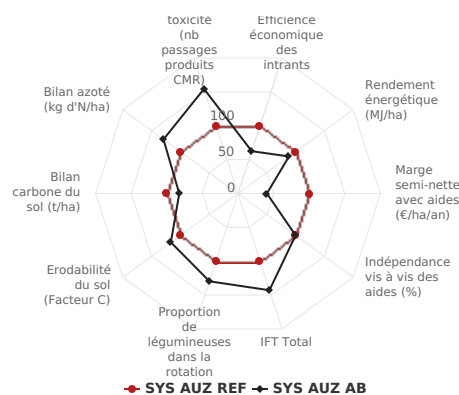
## Evaluation multicritère

Le résultat des calculs des indicateurs de performances du système TCS est représenté ci-dessous. Ces résultats sont mis en comparaison avec ceux obtenus par le système de référence « blé »

Tableau comparatif des valeurs des indicateurs

Indicateurs	SYS_AUZ_REF	SYS_AUZ_TCS
Effizienz économique des intrants	2.4	1.5
Rendement énergétique (MJ/ha)	295582.8	261448.2
Marge semi-nette avec aides (€/ha/an)	620.2	251.9
Indépendance vis à vis des aides (%)	0	0
IFT Total	2.3	1.3
Proportion de légumineuses dans la rotation	0	29.7
Erodabilité du sol (Facteur C)	0.1	0.1
Bilan carbone du sol (t/ha)	34.7	28.6
Bilan azoté (kg d'N/ha)	286.6	202.4
Risque de toxicité (nb passages produits CMR)	5.5	2.5
<b>Autres indicateurs</b>	<b>SYS_AUZ_REF</b>	<b>SYS_AUZ_TCS</b>
Rendement protéique (kg protéine/ha)	1503.4	1475
Diversité des cultures (espèces)	2	8.4
Quantité de principe actif lixiviable (g/ha)	1166.5	569

Représentation graphique du comparatif des valeurs des indicateurs



Pour chaque indicateur, la valeur dans le tableau est obtenue en calculant la moyenne à partir des valeurs de l'indicateur de chacune des quatre parcelles où le système a été expérimenté (4 pour le système de référence). Le graphique permet d'apprécier visuellement pour chaque indicateur si le système TCS (représenté par le polygone noir) est meilleur que le système de référence (le polygone rouge) : plus le polygone est éloigné du centre du graphe, meilleur est le système TCS par rapport au système de référence pour l'indicateur en question.

Le **rendement énergétique** obtenu par le système TCS est légèrement plus faible que celui obtenu par la référence. Ce résultat est logique, car au vu des cultures et des objectifs de rendement, le système de référence dispose d'un meilleur rendement énergétique théorique. De plus, bien qu'il y ait eu des accidents de rendement pour les deux systèmes, le système TCS est pénalisé par les rendements en maïs dry et assez faibles en pois chiche. Le constat est le même pour le **rendement protéique**. Les faibles rendements en pois chiche sont d'autant plus impactants pour cet indicateur.

L'**efficacité économique des intrants** (EE) permet d'apprécier la dépendance d'un système de culture aux intrants pour assurer sa production (produit brut). L'efficacité économique des intrants est légèrement plus faible que celle de la référence, malgré le fait qu'elle soit meilleure pour le blé et le tournesol comparé à la référence (1,14 contre 1,35 pour le blé et 1,66 contre 1,02 pour le tournesol) ; en revanche, elle est plus mauvaise pour le maïs dry (0,29) et le pois chiche (0,76). Le maïs dry ayant généré un produit très faible avec de faibles intrants, il n'a pu bénéficier de ses charges en intrant faibles par rapport aux autres cultures.

La **marge semi-nette** (MSN) obtenue par les deux systèmes reste très faible et d'autant plus pour le système TCS (296,6 €/ha/an contre 14,4 €/ha/an). La MSN des deux systèmes est insuffisante pour couvrir le coût du compost ; le coût est un peu plus important pour le système TCS, car l'apport de compost a été plus fréquent en moyenne (260 €/ha/an pour TCS et 220 €/ha/an pour Ref) : Pour le système TCS, le coût moyen des CIMS sur les quatre ans de 128 €/ha/an reste non négligeable. Un coût qui n'est sans doute pas à la hauteur des bénéfices directement observables. Si on s'intéresse au résultat économique des cultures, on remarque qu'il est correct seulement pour le blé pour les deux systèmes. Or le blé est une culture qui revient plus souvent au système de référence. Le résultat est tout de même meilleur pour le blé tendre du système TCS. De même pour le tournesol lorsqu'on enlève les coûts du compost. Mais, comme pour les autres cultures, la MSN globale du système TCS est très impactée par l'échec économique des autres cultures de la rotation : maïs dry (-428 €/ha/an) et pois chiche (-79 €/ha/an) et ce, même les coûts liés aux CIMS et au compost (MSN = 120 €/ha/an pour le maïs et MSN = 164 €/ha/an pour le pois chiche).

Ni le système TCS, ni le système de référence n'est **indépendant vis-à-vis des aides** (IA = 0%). En effet, leur MSN moyenne par an est inférieure aux aides moyennes perçues par an. Cependant, l'impact des aides perçues est nettement plus important pour le système TCS. Cela s'explique par une MSN moyenne par an très faible.

Pour ce qui est de l'**IFT total**, le bilan est meilleur pour le système TCS. Il totalise en effet un IFT total plus faible que celui obtenu par le système de référence. Les IFT herbicides moyens sont à peu près égaux pour les deux systèmes (0,83 pour Ref et 0,63 pour TCS), la différence se faisant sur les fongicides et insecticides (2,1 pour Ref et 1,3 pour TCS). Le système TCS a globalement été assez économe en fongicides et insecticides, notamment grâce au pois chiche et au tournesol. Le maïs augmente la moyenne du système, notamment à cause de l'utilisation d'herbicide à toutes les années. L'IFT herbicide moyen est égal à 1 : ainsi que l'utilisation ponctuelle de semence traitée (dont un ressemis) et d'insecticides. L'IFT a été assez élevé pour le blé dur du système de référence, notamment les premières années avec plus de protection fongicide que sur le blé tendre du TCS. Il n'y a pas eu de différence entre les deux blés en terme d'IFT herbicide moyen (0,83 pour Ref et 0,82 pour TCS).

À l'image de l'IFT total, la **quantité de principe actif lixiviable** (traitement de semence non pris en compte) est plus faible pour le système TCS.

En lien avec les deux indicateurs précédents, on peut estimer que le **risque de toxicité** a été moins important pour le système TCS. En effet, en moyenne sur toute la rotation, il y a eu

phytosanitaires utilisés par rapport au système de référence. De plus, la proportion de produits classés CMR par rapport au nombre de produits total utilisés est inférieure pour le système TCS. Voir dans le tableau, il y a eu moins de passages de produits classés CMR pour le système TCS. Les blés ont été les cultures pour lesquelles le plus de produits classés CMR ont été utilisés.

La rotation du système de référence n'intégrant pas de légumineuses, la **proportion de légumineuses dans la rotation** est forcément meilleure pour le système TCS avec la présence de légumineuses dans certains mélanges des couverts de sa rotation. Le système TCS se détache aussi logiquement pour ce qui est la **diversité des cultures** (nombre d'espèces) grâce à sa rotation plus complexe.

Pour ce qui est de l'**érodabilité du sol**, le système TCS s'en sort mieux que le système de référence et ce, malgré une rotation plus favorable à l'érodabilité du sol de par les cultures principales. D'une part, grâce à une fréquence plus importante de couverture du sol sur la période hiver/printemps grâce aux couverts. Et d'autre part, grâce à une fréquence d'utilisation du labour moins et un enfouissement des résidus de culture moins fréquent.

Pour le système TCS, le **bilan carbone** est moins bon que celui du système de référence, mais ce résultat reste à relativiser car le bilan est très positif pour chaque système. Sur un échantillon chaque parcelle des systèmes, on mesure en moyenne, sur la parcelle où a été expérimenté le système de référence, une hausse de 34,7 t de carbone par hectare sur les 30 premiers centimètres de 28,6 t C/ha en moyenne sur celles où a été expérimenté le système en TCS. Ces fortes hausses sont satisfaisantes, mais elles sont sans doute à mettre au crédit des apports importants de deux dernières campagnes, et même d'un troisième apport juste après les récoltes de la dernière campagne (121 t/ha en tout).

Le **bilan azoté** du système TCS est meilleur que celui du système de référence. Cependant, ce bilan reste très excédentaire. Cela s'explique par l'apport de compost. En effet, bien que ce compost est très pauvre en azote (taux d'azote total égal à 0,7 % de la masse), les quantités importantes épandues expliquent les entrées importantes d'azote dans le système. À noter que le compost est comptabilisé dans le bilan correspondant en grande partie à de l'azote organique, qui est très faiblement minéralisé, et donc moins sensible à la lixiviation. Le fournisseur estime qu'environ 1 t est minéralisé la première année après l'apport (estimation haute). Si on enlève du bilan les apports organiques stables du compost, on obtient alors un excès de 228 kg N/ha pour le système de référence et un excès de 109 kg N/ha pour le système TCS. Dans ce cas, le système TCS est nettement meilleur par rapport au système de référence pour ce qui est de la gestion de l'excédent d'azote. À noter que quel que soit le système, la biomasse n'a jamais été exportée. Ainsi, une part de l'azote apporté contenue dans la biomasse n'est pas strictement perdue, mais plutôt restituée au sol et à la culture organique. Cet excès d'azote peut expliquer qu'on mesure des reliquats azotés élevés, voire très élevés, après la dernière récolte sur trois des quatre parcelles du système TCS.

Zoom sur... (titre à compléter) ▲

#### Contact



**Gilles TISON**

Pilote d'expérimentation - INRAe

✉ [gilles.tison@inrae.fr](mailto:gilles.tison@inrae.fr)

## Bilan et perspectives

Le système testé qui caractérise une transition vers un système ACS était basé sur une rotation regroupant 4 cultures du Lauragais (blé tendre, tournesol, maïs et pois chiche).

Les performances multicritères du système comparé à une référence blé dur tournesol, soulignent des performances environnementales marquées (IFT, diversité, sol) mais des performances économi-ques faibles liées aux difficultés d'assurer le peuplement (qualité du semis et volatiles), au dérèglement climatique avec des périodes sèches très marquées et aux charges supplémentaires intercultures. Ces difficultés ont particulièrement impacté la réussite du maïs dry et du pois chiche. La culture du pois chiche montre ses limites en terme de rentabilité dans un système agricole conventionnel. Ces difficultés ont surtout impacté la rentabilité économique du tournesol, une culture dont les rendements obtenus sont en accord avec les références régionales. Le maïs tendre confirme que cette culture est une valeur sûre des systèmes de culture du Lauragais.

Au terme de la rotation, l'arrêt du travail profond est effectif mais la durée relativement courte de la rotation ne permet pas d'apprécier finement l'impact, notamment sur les adventices.

L'évolution du C dans le sol est significativement positif, en lien avec les 120t/ha de compost apporté et probablement la présence de couvert.

La couverture de l'interculture a pris de l'ampleur au fil du projet et des biomasses intéressantes (autour de 5t/ha) ont été obtenues sur certains mélanges testés. L'absence d'irrigation post blé a même pénalisé certains couverts. Les couverts peu denses n'ont pas permis de contenir le développement des adventices. On note la difficulté de réussir un couvert sans semis combiné et un travail superficiel supplémentaire avant le semis.

L'arrêt du glyphosate et le maintien d'un semis avec travail superficiel du sol a compliqué la phase de destruction et de semis, avec une multiplication du travail superficiel de préparation et d'entretien lorsque la biomasse du couvert était importante (et un peuplement en conséquence).

La suppression du S-métolachlore n'a posé des difficultés que sur tournesol et maïs. Deux autres molécules (ZNT 20m) ont été utilisées et l'intensification du désherbage mécanique a été nécessaire pour contrôler les adventices, dans un contexte fréquent de défaut de peuplement et de réduction de la dose d'herbicide.