

RESULTATS DU PROJET SEFERSOL : EXPERIMENTATION DE TROIS STRATEGIES DE GESTION COMBINEE DE L'ENHERBEMENT ET DE LA FERTILITE DU SOL EN MARAICHAGE BIOLOGIQUE

Margot Roux¹, Aude Langenfeld², Camille Fonteny³, Anne Schaub⁴, Christophe Barbot⁵, Joseph Templier⁶, Christian Icard⁶, Maurine Schneiderlin⁷, Najat Nassr²

¹Projet SEFerSol, EPLEFPA Les Sillons de Haute Alsace, 8 Rue aux Remparts, 68250 Rouffach,

²RITTMO Agroenvironnement®, 37 rue de Herrlisheim, 68025 Colmar

³Bio en Grand Est, 1 Espace Picardie - Avenue de l'Europe - LES PROVINCES, 54520 Laxou

⁴Chambre Régionale d'Agriculture Grand Est, Complexe agricole du Mont Bernard, Route de Suippes, 51000 Châlons en Champagne

⁵Chambre d'Agriculture d'Alsace, Maison de l'agriculture, Espace Européen de l'Entreprise, 2 rue de Rome, CS 30022 SCHILTIGHEIM, 67013 Strasbourg Cedex

⁶L'Atelier Paysan, ZA des Papeteries, 38140 Renage

⁷PLANETE Légumes, Maison de l'agriculture - 11 rue Jean Mermoz - BP 80038, 68127 Sainte Croix en Plaine

Introduction

En maraîchage biologique, les solutions de substitution au désherbage chimique s'appuient principalement sur le travail du sol (labour, faux-semis), le recours aux paillages plastiques et les interventions de désherbage mécanique, thermique ou manuel. Les solutions de substitution utilisées pour maîtriser la concurrence des adventices peuvent avoir des effets négatifs sur la durabilité des cultures notamment en matière de fertilité du sol : sols nus exposés à la battance et l'érosion et sujets aux pertes de nitrates, passages répétés des machines qui génèrent du tassement et de la compaction des sols.

De plus, les systèmes de culture en agriculture biologique prévoient une amélioration constante de fertilité des sols et de l'activité biologique et privilégient l'usage des amendements et engrais organiques. Une baisse de fertilité des sols, peut conduire d'une part, à une perte d'autonomie vis-à-vis des intrants (fertilisants organiques). D'autre part, elle peut également impacter l'état sanitaire des cultures (ravageurs et maladies) pour lequel le maraîchage biologique dispose de peu de moyens curatifs.

Ainsi, la gestion de l'enherbement est parmi le plus grand défi à relever dans le domaine de l'entretien de la santé des sols (Schonbeck et al. 2017). Le travail du sol et le désherbage mécanique doivent être raisonnés prudemment car ils peuvent perturber la vie du sol, dégrader la matière organique et la structure du sol et accélérer l'érosion. Intégrer simultanément les enjeux de maîtrise de l'enherbement et de préservation de la fertilité du sol requiert pour le maraîcher de déployer de nouvelles stratégies à l'échelle du système de culture (SdC) en combinant des leviers techniques compatibles et adaptés au contexte (reconception des systèmes de culture). Les méthodes adaptées pour produire de nouveaux repères et références sont dès lors celles de l'expérimentation systèmes de culture (Havard et al. 2017, Deytieux et al. 2012).

Considérant l'enjeu essentiel que constituent la maîtrise de l'enherbement en maraîchage biologique d'un côté et la nécessité de préserver le potentiel de production d'un autre côté (fertilité du sol), le projet SEFerSol Maraîchage Biologique propose de comparer deux stratégies innovantes à une stratégie plus classique de maraîchage biologique afin d'en évaluer les performances globales : (1) classique qui sert de référence, (2) maximisant l'usage des engrais verts, (3) adaptant l'agriculture de conservation des sols. Chacune des stratégies innovantes déploie des leviers différents pour assurer la gestion simultanée de l'enherbement et de la fertilité du sol.

Les engrais verts, ou cultures intermédiaires, peuvent être utilisés précisément dans la lutte contre les adventices à condition que leur positionnement soit bien réfléchi par rapport au cycle biologique des adventices et que le travail du sol accompagnant ces couverts soit bien raisonné (Charles et al. 2012). Combiner l'utilisation des couverts végétaux détruits mais non enfouis avant l'implantation des cultures à la réduction forte du travail du sol est un moyen d'amélioration de la gestion des adventices qui permet également une préservation de la fertilité des sols. La limitation du travail du sol (souvent réduit à un travail sur la ligne d'implantation des cultures en maraîchage) limite les levées d'adventices pendant la culture qui suit le couvert végétal. Néanmoins, ces stratégies semblent se heurter à certaines difficultés ; notamment le ralentissement du cycle de l'azote dans le sol en particulier au début de la transition vers ce type de systèmes (Bodiou, 2009), nécessitant alors des apports d'azote organique. De même, des difficultés de maîtrise de l'enherbement qui peuvent être réglées par des techniques d'occultation à l'aide de bâches à certaines périodes de l'année (Treuvey et al. 2013, Archambault 2013). Ainsi, une voie intermédiaire consiste à maximiser l'usage des engrais verts dans les successions de cultures, à réduire le travail du sol tout en maintenant les possibilités de désherbage mécanique à certaines périodes.

Il apparaît ainsi que les stratégies de gestion de la fertilité du sol et la maîtriser les adventices en parcelles maraichères soient intimement liées et leurs effets sont difficilement dissociables. C'est pourquoi l'expérimentation dite « système », c'est-à-dire l'étude de nouvelles combinaisons de pratiques (Meynard 2012), est un outil adapté à cette thématique. Pour pouvoir faire les meilleurs compromis, les agriculteurs ont besoin de références de ce type, qui sont encore peu nombreuses en maraîchage biologique.

Le projet SEFerSol DEPHY EXPE étudie depuis 2015 trois Stratégies (systèmes de cultures innovants - SdCi) de gestion combinée de l'Enherbement et de la Fertilité du Sol en maraîchage biologique. La performance globale des systèmes de cultures est évaluée à moyen terme par divers indicateurs : résultats technico-socio-économiques, maîtrise de l'enherbement et des bioagresseurs, fertilité du sol, impact environnemental, autonomie vis-à-vis des intrants.

Le Projet SEFerSol bénéficie des financements de l'Office Français de la Biodiversité (projet DEPHY EXPE depuis 2018) et de l'Agence de l'Eau Rhin Meuse. Sa réalisation, de 2015 à 2023, est garantie par la collaboration de sept partenaires techniques avec l'EPLFPA Les Sillons de Haute Alsace : l'ARAA (jusqu'en 2018), l'Atelier Paysan, la Chambre Régionale d'Agriculture Grand Est, la Chambre d'Agriculture d'Alsace, Planètes LEGUMES, Bio en Grand Est et RITMO Agroenvironnement®.

Présentation de l'expérimentation SEFerSol

Les deux systèmes innovants, Engrais Verts Max (SdC2) et Conservation du Sol (SdC3), sont comparés au système de Référence (SdC1). Ce dernier reprend les pratiques des maraîchers biologiques de la région Alsace : travail du sol classique avec des outils animés, fertilisation par engrais organiques, amendements classiques, utilisation d'engrais verts non systématique. Le système Engrais Vert Max se caractérise par l'utilisation maximisée des engrais verts dans les successions de culture, en interculture ou en intercalaire et par l'absence d'apports d'engrais organique. Le travail du sol est également mécanisé mais avec des outils non-rotatifs. L'objectif du système Conservation du Sol est d'assurer une couverture du sol la plus permanente possible, idéalement au moyen de couverts végétaux, roulés ou broyés pour constituer un *mulch* organique au sol, ou par des bâches plastiques. Le travail du sol est limité au maximum et autorisé seulement localement (ligne de semis...).

Dans les systèmes de SEFerSol, les leviers agronomiques utilisés pour la fertilisation comprennent l'apport d'engrais organique, la culture d'engrais verts et l'apport d'amendements organiques (composts de déchets verts et/ou fumiers).

L'expérimentation est conduite sur deux parcelles : SEFerSol1 et SEFerSol2 (Schéma 1), chacune divisée en trois systèmes de culture (SdC1 REF, SdC2 EVMAX et SdC3 CONSV). Les systèmes sont conduits en planches permanentes d'un are chacune (2 mètres de large et 50 mètres de long). La même succession de cultures sur 5 ans est suivie sur ces parcelles (Tableau 1), avec un an de décalage. Le sol y est de texture sablo-limoneuse, peu profond (40 cm environ) et à forte présence de galets. Le pH moyen

est de 6,5, il est dépourvu de calcaire. Le taux de matière organique y est bon, entre 3,8 et 4,2%. La réserve utile est faible car le sol est très perméable avec un risque de lixiviation élevé.



Schéma 1 : Parcelles expérimentales SEFerSol, situées à l'ouest du Lycée du Pflixbourg, à Wintzenheim (Alsace)

Tableau 1 : Succession de cultures sur SEFerSol

	Année 1 Pomme de terre	Année 2 Salade et chou	Année 3 Courge	Année 4 Poireaux	Année 5 Carottes
SEFerSol1	2015 et 2020	2016 et 2021	2017 et 2022	2018 et 2023	2019
SEFerSol2	2016 et 2021	2017 et 2022	2018 et 2023	2019	2020

Les sols des deux parcelles sont de type sablo-limoneux, avec des pH d'environ 6,5 à 7. Des prélèvements de sols sont effectués annuellement pour des analyses physiques, chimiques et biologiques. Les mesures chimiques concernent la matière organique, l'azote, etc... Les mesures physiques concernent la stabilité structurale des agrégats issus de l'activité microbienne, le test bêche, etc... Les mesures biologiques concernent le comptage de vers de terre, la respiration microbienne du sol et la biomasse moléculaires des populations bactériennes et fongiques. Des bougies poreuses sont installées à 80cm de profondeur sous la parcelle SEFerSol1 pour des mesures de lixiviation des nitrates. Les rendements économiques et sociaux sont basés sur les temps de travail sur parcelle. Le rendement par hectare est mesuré pour chaque culture. Des mesures concernant les adventices et ravageurs sont également effectuées.

Les indicateurs microbiologiques et physiques détaillés dans le présent article concernent la stabilité structurale des agrégats (mesure par la méthode Kemper & Rosenau), la respiration microbienne du sol (NF EN ISO 16072) et la biomasse moléculaire des populations fongiques et bactériennes (extraction ADN puis PCR quantitative avec deux couples d'amorces ciblant les populations bactériennes totales ou fongiques totales).

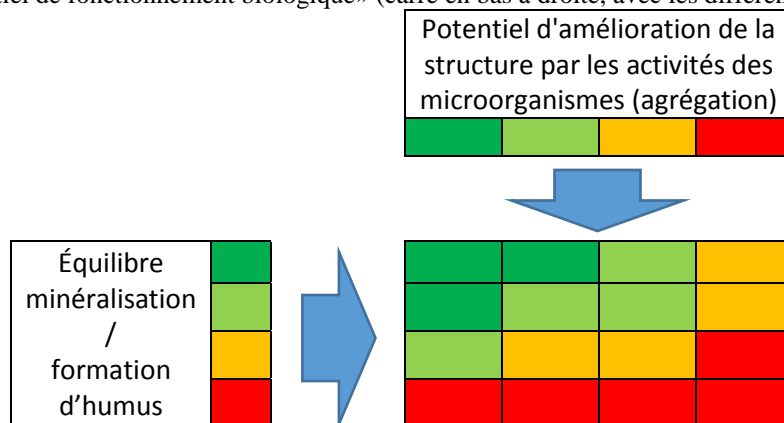
Résultats

Indicateurs de durabilité économique, environnementale et sociale des systèmes de culture

Dans l'objectif d'évaluer les performances globales des systèmes de cultures mis en œuvre dans le projet SEFerSol, l'évaluation multicritère a été utilisée. Cette dernière permet de proposer une analyse et une interprétation de l'ensemble de des critères plutôt qu'une description de plusieurs critères. Cette analyse nécessite un recours à la pondération, à la compensation et à l'agrégation des différents critères (Lairez J. et al, 2015). Cette analyse multicritère a considéré des indicateurs de durabilité économique, environnementale et sociale et elle est présentée sous forme d'un tableau de bord afin de faciliter sa diffusion auprès des professionnels (Beguem et al., 2020).

Pour obtenir ce tableau, l'ensemble des indicateurs de performance mesurés dans le cadre du projet ont été triés puis répartis dans les différents axes de la durabilité. Chaque indicateur est considéré comme pouvant présenter des résultats très satisfaisants, satisfaisants, moins satisfaisants ou insatisfaisants. Ces résultats sont représentés par un système de code couleur allant du rouge (insatisfaisant) au vert foncé (très satisfaisant). Ces indicateurs sont ensuite agrégés, par thème, chaque nœud d'agrégation faisant l'objet d'un tableau de contingence. Le tableau 2 présente un exemple d'agrégation des indicateurs de la fertilité physico-chimique des sols, dont l'indicateur amélioration de la structure du sol par les microorganismes qui prend en compte l'activité respiratoire du sol (résultats présentés dans l'article).

Tableau 2 : Tableau de contingence de l'agrégation de l'indicateur « Potentiel d'amélioration de la structure par les microorganismes » (en haut) et « Equilibre minéralisation/ humus » (à gauche) qui peut renseigner sur l'« Etat organique et potentiel de fonctionnement biologique » (carré en bas à droite, avec les différentes couleurs)



Ainsi, dans la dimension économique, certains des indicateurs portent sur la capacité productive du sol à savoir : (i) à court ou moyen terme : avec le potentiel de maintien de la structure et le stockage et la restitution de l'eau et des nutriments, et les conditions de croissance pour la plante et (ii) à long terme : avec le stock semencier, l'état organique et potentiel de fonctionnement biologique du sol, et le nombre de passages pour le désherbage.

Dans la dimension environnementale, certains indicateurs concernent : (i) la conservation de la biodiversité : biomasse bactérienne, biomasse fongique, activité microbienne par respirométrie, population de vers de terre et (ii) l'impact sur la qualité du milieu : pertes de nitrates, indicateur de fréquence de traitement.

Selon les indicateurs, des seuils absolus (valeurs bibliographiques...) ou relatifs (en comparaison entre les systèmes) ont été établis. Concernant l'établissement des seuils relatifs, il est à noter que si le système REF est représentatif des pratiques des maraichers de la région et qu'il est considéré de façon générale plutôt satisfaisant d'un point de vue économique et social, il n'est pas considéré comme satisfaisant d'un point de vue environnemental dans le cadre du projet SEFerSol.

Concernant les indicateurs de fertilité biologique des sols, des valeurs de seuils absolus présentés dans le tableau 3 ont été utilisés pour l'analyse multicritère.

Tableau 3 : Seuils absolus des indicateurs de fertilité biologique du sol du projet SEFerSol

Indicateurs	Très satisfaisant	Satisfaisant	Peu satisfaisant	Insatisfaisant	Méthode employée
Stabilité structurale (agrégats > 200µm liés à l'activité microbienne)	[0.4-1]	[0.3-0.4[	]0.25-0.3[	[0-0.25]	Kayser et Rosen
Respirométrie (mg O ₂ /g MS)	> 2,3	]1,5-2,3]	]0,8-1,5]	<=0,8	OXITOP
Biomasse bactérienne (nb copies gènes/g sol sec)	> 10 ¹⁰	]10 ⁸ - 10 ¹⁰]	]10 ⁷ - 10 ⁸]	<=10 ⁷	ADN 16S
Biomasse fongique (nb copies gènes/g sol sec)	> 10 ⁹	]10 ⁷ - 10 ⁹]	]10 ⁵ - 10 ⁷]	<=10 ⁵	ADN 18S

Pour l'élaboration du tableau de bord (tableau 4), l'agrégation de l'ensemble des indicateurs mesurés dans le projet a permis d'aboutir à un nombre limité d'indicateurs représentatifs des dimensions économiques, sociales et environnementales du projet. Le tableau de bord obtenu indique le niveau de performance des systèmes de culture, pour chaque indicateur. Pour remplir ce tableau, les données ont été agrégées temporellement (à l'échelle de l'année, de la culture) et spatialement (à l'échelle d'un système de culture, d'une parcelle). Les résultats présentés dans ce tableau de bord sont ceux de 2015 à 2018, les résultats 2019-2021 étant toujours en cours d'analyse.

Tableau 4 : Tableau de bord du projet SEFerSol (résultats de 2015 à 2018)

	Catégories	Indicateurs	SdC REF SdC1	SdC EVMAX SdC2	SdC CONSV SdC3
Dimension économique	Résultats technico-économiques	Rendement			
		Charges de main d'œuvre			
		Charges opérationnelles			
		Marge semi-nette			
		Parc matériel			
	Capacité productive à court et à moyen terme	* Conditions de croissance de la plante			
		* Potentiel de maintien de la structure et le stockage/restitution de l'eau des nutriments			
	Capacité productive à long terme	Stock semencier			
* Etat organique et potentiel de fonctionnement biologique : fertilité à long terme et potentiel d'autonomie					
Nombre de passages de désherbage					
Dimension environnementale	Conservation de la biodiversité	Biomasse bactérienne (ADN 16S)			
		Biomasse fongique (ADN 18S)			
		Activité microbienne par respirométrie O ₂ (OXITOP)			
		Population de vers de terre			
	Impact sur la qualité du milieu	Pertes d'azote (nitrates)			
		Indicateur de Fréquence de Traitement (IFT)			
	Pression sur les ressources	Consommation de carburant			
Consommation de plastique					
Dimension sociale	Pénibilité	Temps de travail pendant les périodes de surcharge			
		Temps de travail pénible			
	Complexité	Complexité de mise en œuvre			
		Complexité des outils			
		Besoin en formation			
	Organisation	Temps de travail total			
		Intérêt à travailler à plusieurs			

* : Les indicateurs, avec un astérisque dans le tableau, sont des agrégations d'indicateurs dont le niveau de

performance est évalué par le biais de règles de décisions sous forme de tableaux de contingence.

NB : Le stock semencier correspond à la différence de stock de grains d'adventices entre le début et la fin du projet, l'analyse n'est donc pas encore possible à ce stade du projet. Concernant l'indicateur pertes d'azote (nitrates), le système de bougies poreuses a été installé en 2018 (pas de données disponibles pour la réalisation du tableau présenté).

Le tableau de bord permet ainsi d'avoir une vision globale des performances des systèmes de cultures innovants en comparaison avec le système de référence. Cette première analyse souligne que dans l'ensemble les trois systèmes sont performants d'un point de vue technico-économique.

Les trois systèmes ont un rendement satisfaisant, cependant il est à noter que le SdC3 CONSV présente un rendement légèrement inférieur aux deux autres systèmes (SdC1 REF et SdC2 EVMAX). Les systèmes innovants ont une capacité productive à court et moyen terme plus satisfaisante que REF (SdC1), en particulier pour les indicateurs concernant les conditions de croissance de la plante. Pour la capacité productive à long terme, les trois systèmes ont de bonnes performances, mais CONSV (SdC3) se démarque par un nombre de passages de désherbage moins élevé que REF (SdC1) et EVMAX (SdC2).

Dans la dimension environnementale, cette première évaluation semble montrer que le système CONSV (SdC2) est plus performant dans l'ensemble, sauf pour l'IFT, principalement à cause des besoins de traitement contre les limaces, et pour la consommation de plastique. Pour ce dernier indicateur, la différence avec les 2 autres systèmes (REF SdC1, EVMAX SdC2) est en réalité conséquente, à cause de l'utilisation fréquente de bâches plastiques pour couvrir le sol ou le couvert végétal.

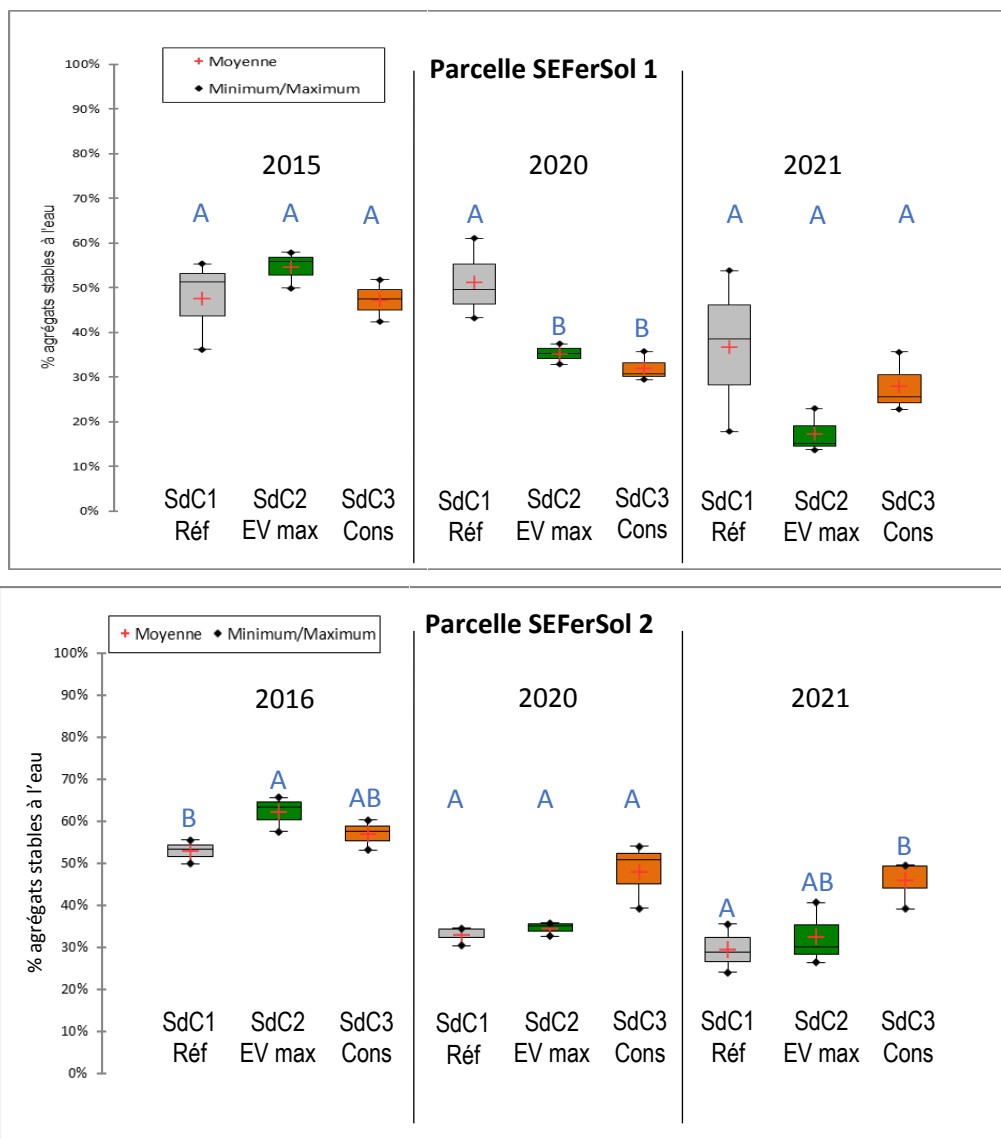
D'un point de vue social, l'hypothèse de base repose sur le fait que REF (SdC1) est un système très utilisé par les maraichers de la région et donc qu'il est satisfaisant dans ce domaine. En fonction des pratiques adoptées dans chaque système, les indicateurs sont plus ou moins satisfaisants et se différencient dans les deux systèmes innovants (EVMAX SdC2 et CONSV SdC3). A titre d'exemple, le système EVMAX (SdC2) requiert l'utilisation d'outils adaptés, considérés comme encore peu communs chez les maraichers et donc plus compliqué à maîtriser que les outils de REF (SdC1). Pour CONSV (SdC3), les interventions sont moins mécanisées et demandent donc plus de temps de travail.

Les données présentées portent sur les quatre premières années de l'expérimentation. L'impact des itinéraires techniques et des pratiques adoptés dans chaque système de culture mis en œuvre dans le projet SEFerSol peut mettre plusieurs années avant d'être perceptible par les indicateurs étudiés. Il est donc important de ne pas tirer des conclusions sur ces résultats, et de revenir sur les hypothèses avancées lorsque les prochains résultats seront publiés. Ces premiers résultats nous ont permis de développer une méthode d'évaluation multicritères et sa mise en œuvre est à continuer au fur et à mesure du déroulement du projet.

De plus, ces résultats sont issus d'agrégations spatiales et temporelles des données du projet (plusieurs années de mesures, parcelles SEFerSol1 et SEFerSol2), il est important d'analyser ces données en comparant par exemple les valeurs pour chaque culture, ou pour chaque année, afin de mieux expliquer l'évolution des systèmes étudiés dans le projet. Dans le présent article, les données de certains indicateurs de la fertilité du sol ont été analysées.

Indicateurs de fertilité biologique des sols

De nombreux indicateurs mesurés concernent la fertilité biologique des sols, ainsi une analyse relative à l'impact des systèmes de cultures sur les indicateurs microbiologiques des sols a été réalisée.

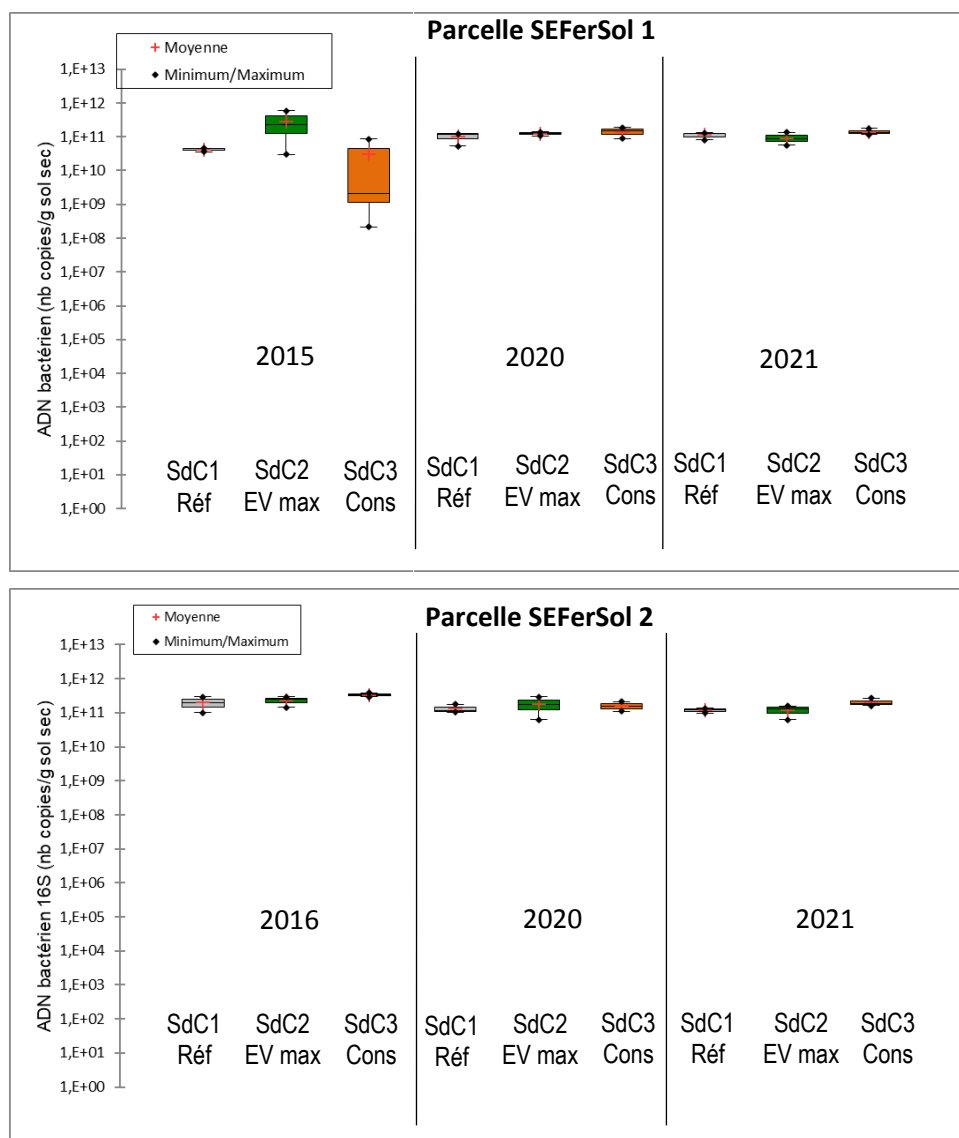


Graphique 1: Mesures de stabilité structurale des agrégats des deux parcelles SEFerSol (mesures de l'année de début d'expérimentation puis des années 2020 et 2021 soit après 6 et 7 ans de cultures pour SEFerSol 1 et 5 et 6 ans de cultures pour SEFerSol 2) (Groupes statistiques indiqués en **bleu** : ANOVA 5%, en **vert** : Kruskal-Wallis, en leur absence : pas d'effet statistiquement significatif)

D'après le Graphique 1, lors de la mise en place du système, les trois systèmes de cultures présentent des valeurs proches, à environ 50% d'agrégats stables à l'eau pour la parcelle SEFerSol1. Au cours des années (données non montrées), la différenciation des systèmes est variable, avec cependant une stabilité des tendances en 2020 et 2021 : les systèmes innovants (SdC2 EVMAX et SdC3 CONSV) présentent des valeurs inférieures au système de référence (SdC1). Ces différences entre les systèmes ne semblent pas liées au mode de fertilisation adopté dans chaque système, mais plutôt au bâchage et paillage, notamment dans le SdC3 conservation du sol (mesure d'une augmentation de l'humidité d'environ 5% à cause du bâchage).

Lors de la mise en place du système, les trois systèmes de cultures présentent des valeurs proches, à environ 60% pour la parcelle SEFerSol2. Il est cependant à noter que les systèmes innovants (SdC2 EVMAX et SdC3 CONSV) présentent une meilleure stabilité des agrégats que le SdC1 (REF), ceci peut être en lien avec la présence d'engrais vert dans les systèmes innovants à l'hiver précédent la mesure de 2016 (engrais vert non présent dans le SdC1). Au cours des années (données non montrées), la différenciation des systèmes est variable, avec cependant une stabilité des tendances en 2020 et 2021 : le système conservation du sol (SdC3) présente des valeurs supérieures aux deux autres systèmes (SdC1

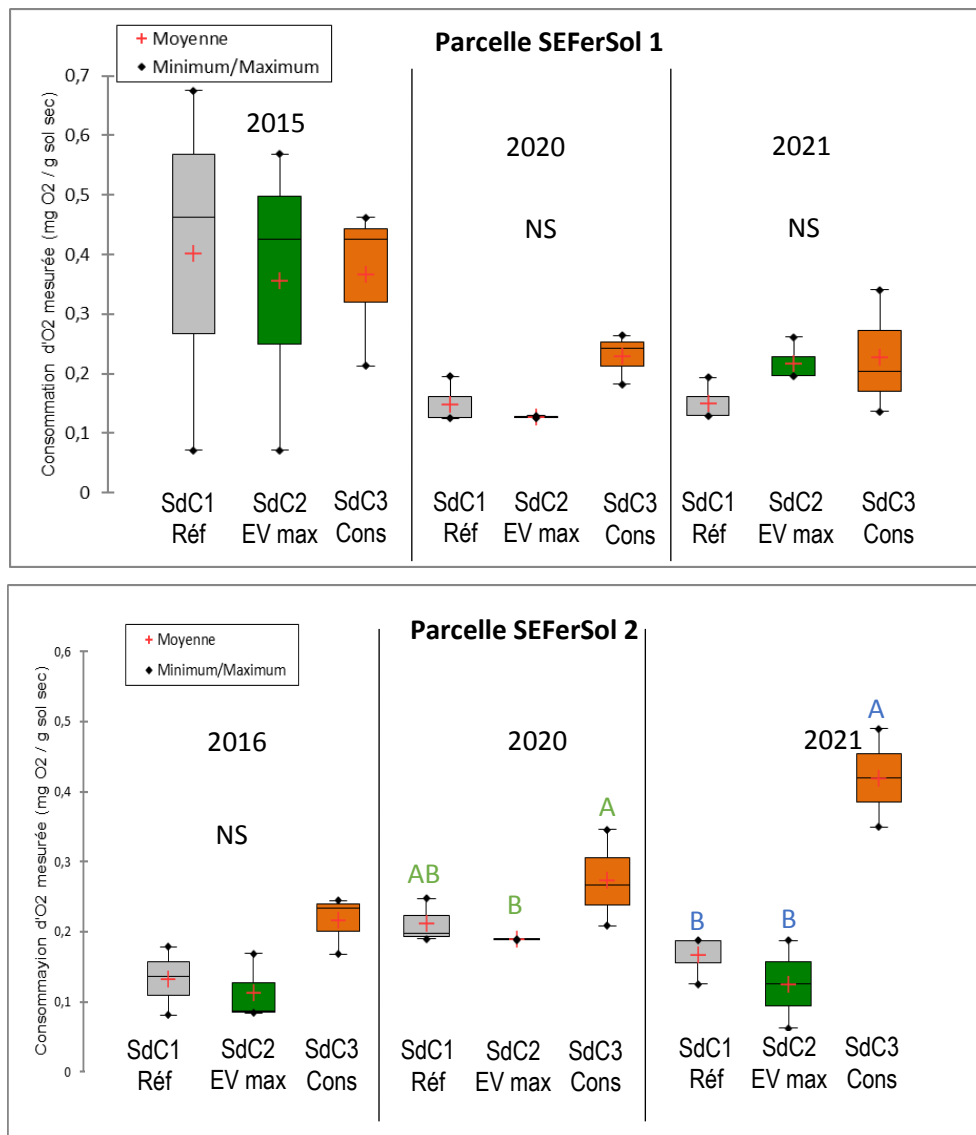
REF et SdC2 EVMAX). La démarche de fertilisation (engrais vert et fertilisation organique) et les pratiques (système sans travail du sol et apport de paillage) adoptés dans ce système, au cours des deux dernières années, semblent favoriser la stabilité des agrégats du sol (graphique 1).



Graphique 2 : Mesures de biomasse moléculaire bactérienne des deux parcelles SEFerSol (mesures de l'année de début d'expérimentation puis des années 2020 et 2021 soit après 6 et 7 ans de cultures pour SEFerSol 1 et 5 et 6 ans de cultures pour SEFerSol 2) (Pas d'effet statistiquement significatifs)

Pour les indicateurs de biomasse moléculaire bactérienne et fongique (mesure par qPCR, données 16S ADN bactérien en graphique 2, données 18S fongique non montrées), les systèmes ne sont pas différenciés par les valeurs mesurées. Ces indicateurs sont stables entre les 3 systèmes. Les modifications des itinéraires techniques entre les 3 systèmes ne semblent pas avoir d'influence sur ces paramètres, même après 6 et 7 années de culture (graphique 2).

Les bioindicateurs de biomasse bactérienne et fongique soulignent la forte concentration du sol en microorganismes dans les deux parcelles (respectivement à 10¹¹ et 10¹⁰ copies gènes/g sol sec). Les pratiques et la fertilisation ne permettent pas de différencier les systèmes pour ces bioindicateurs.



Graphique 3 : Mesures de respiration microbienne du sol des deux parcelles SEFerSol (mesures de l'année de début d'expérimentation puis des années 2020 et 2021 soit après 6 et 7 ans de cultures pour SEFerSol 1 et 5 et 6 ans de cultures pour SEFerSol 2) (Groupes statistiques indiqués en bleu : ANOVA 5%, en vert : Kruskal-Wallis, en leur absence : pas d'effet statistiquement significatif)

D'après le graphique 3, lors de la mise en place du système sur la parcelle SEFerSol1, les trois systèmes de cultures présentent des valeurs proches (forte variabilité des résultats mesurés). La fertilisation en 2015 par un compost de déchets vert sur les systèmes innovants ne semble pas avoir d'impact sur la respiration du sol. Au cours des années, sur cette même parcelle, la différenciation des systèmes est variable, avec cependant une stabilité des tendances en 2020 et 2021 : le système conservation du sol (SdC3) présente des valeurs légèrement supérieures aux deux autres systèmes (SdC1 REF et SdC2 EVMAX).

Lors de la mise en place du système sur la parcelle SEFerSol2, le système de culture conservation du sol (SdC3) présente une valeur supérieure aux deux autres systèmes. Ce système est le seul ayant reçu une fertilisation organique en plus d'un engrais vert (le SdC1 a reçu une fertilisation organique seule, le SdC2 uniquement un engrais vert). Ainsi il semble que l'association de ces deux pratiques ait favorisé l'activité respiratoire dans le SdC3. Il est à noter que la parcelle SEFerSol1 (pour laquelle aucune différence n'a été observée en 2015) n'a pas reçu d'apport d'engrais vert, contrairement à la parcelle SEFerSol2. Sur cette dernière, la tendance observée en 2016 l'est observée en 2020 et 2021 (après 5 et 6 années de cultures) : le système conservation du sol (SdC3) présente des valeurs supérieures

aux deux autres systèmes (SdC1 réf et SdC2 EV Max). Ainsi la démarche de fertilisation (engrais vert et fertilisation organique) et pratiques (système sans travail du sol, paillage) dans ce système semble favoriser la respiration du sol (graphique 3).

Conclusion

L'usage des engrais verts en maraîchage est bien documenté et leurs effets bénéfiques sur la fertilité du sol ainsi que la nutrition des cultures sont bien mis en évidence. Cependant, en maraîchage, son positionnement dans l'itinéraire technique, entre deux cultures successives ou en position intercalaire dans les cultures, se heurte à des difficultés de mise en œuvre en raison notamment des successions rapides des cultures et de la complexité des systèmes maraîchers diversifiés.

Dans le cadre du projet SEFerSol, différentes stratégies de positionnement des engrais verts combiné au travail du sol ont été étudiées au niveau des itinéraires techniques des systèmes de culture, particulièrement pour Engrais Verts Max (SdC2) comparativement au système de Référence (SdC1) (moins d'apport d'engrais verts). Ces deux systèmes de conduite de culture présentent des niveaux de rendement équivalents et plus élevés que le système Conservation du sol (SdC3) pour les deux parcelles SEFerSol1 et SEFerSol2, même si les 3 systèmes sont classés comme satisfaisants selon les critères de l'analyse multicritère. En effet, l'utilisation du paillage et du bâchage dans le SdC3 semble défavoriser le rendement des cultures principalement dû aux attaques de limaces ou à une mauvaise germination des graines en présence du paillage (BRF Bois raméal fragmenté).

L'analyse détaillée des données bioindicateurs microbiologiques (activité respiratoire) du sol a montré que le système de conservation du sol (SdC3 CONSV) favorise une activité microbienne du sol plus forte de manière significative dans la parcelle SEFerSol2 et cette activité est maintenue durant deux années successives. La même tendance est observée sur la parcelle SEFerSol1 mais pas de manière significative car la couverture du sol utilisée est différente : apport de paille suivi de bâchage dans le système de CONSV SdC3 de la parcelle SEFerSol1 et uniquement paillage avec BRF dans le système CONSV SdC3 de la parcelle SEFerSol2. Cette dernière pratique a également favorisé la stabilité structurale du sol dans ce système de la parcelle SEFerSol2.

L'hypothèse posée dans cette expérimentation est que les systèmes innovants sont plus performants de façon générale (et donc intrinsèquement dans le domaine de la durabilité environnementale) que le système de référence. D'après les résultats présentés concernant les bioindicateurs microbiens du sol, il semble que les systèmes innovants sont soit équivalents soit supérieurs au système de référence, et donc autant, voire plus, performants sur certains des trois indicateurs de durabilité environnementale.

Cependant d'autres indicateurs sont également à prendre en compte concernant la durabilité environnementale : (i) l'IFT et la consommation de plastiques sont moins performants pour le SdC3 CONSV et (ii) la consommation de carburant et la population de ver de terre sont plus satisfaisants pour ce système de culture du fait d'un travail peu mécanisé et limité du sol et (iii) des pertes en nitrates dont les premiers résultats sont en cours d'analyse. Pour ce critère, les SdC1 REF et SdC2 EVMAX sont proches, avec parfois un effet positif pour EVMAX.

Ainsi il apparaît que l'évaluation de la performance des systèmes de culture en maraîchage soit complexe et implique la prise en compte de nombreux critères. Dans le cadre du projet SEFerSol, l'analyse d'un essai système et non factoriel complexifie cette évaluation. La méthode d'agrégation des données, le choix des seuils, la prise en compte de répétitions « systèmes » et non factorielles, etc... seront mis en œuvre et affinés tout au long de l'expérimentation.

Les données présentées ici concernent l'évaluation de la performance des systèmes des premières années du projet. Les données des années suivantes sont en cours d'analyse et feront l'objet de publications ultérieures, que ce soit à destination de la communauté scientifique ou des professionnels du maraîchage, notamment sur le site du projet (Projet SEFerSol, 2021).

Références bibliographiques

- Archambault M., 2013. Agriculture de conservation en Alsace : innovations tous azimuts. TCS N°71, janvier/février 2013, 15-18.
- Beguem et al., 2020. Rapport de stage Master 2 - Mise au point d'une méthode d'évaluation des performances de systèmes de cultures innovants d'une expérimentation en maraichage biologique - projet DEPHY EXPE SEFERSOL. 92 pages.
- Bodiou D., 2009. Steve Groff : une stratégie de couverture permanente des sols. Techniques Culturelles Simplifiées N°52, mars/avril/mai 2009, 34-36.
- Charles et al. 2012. Effets biotiques des cultures intermédiaires sur les adventices, la microflore et la faune. Dans Réduire les fuites de nitrate au moyen de cultures intermédiaires, conséquences sur les bilans d'eau et d'azote, autres services écosystémiques, chapitre 6, pp. 193-261.
- Deytieux et al., 2012. Expérimentation de systèmes de culture innovants : avancées méthodologiques et mise en réseau opérationnelle. Innovations agronomiques n°20 p. 49-78, Colloque RMT Systèmes de culture innovants du 21 octobre 2011.
- Havard et al., 2017. Guide de l'expérimentateur système : concevoir, conduire et valoriser une expérimentation "système" pour les cultures assolées et pérennes, GIS PIClég, GIS Fruits, Réseau ECOVITI, RMT Systèmes de culture innovants, GIS Relance Agronomique, 172 pages.
- Lairez J. et al., 2015. Agriculture et développement durable. Guide pour l'évaluation multicritère. Editions Quae et Educagri.
- Meynard J.M., 2012. La reconception est en marche ! Conclusion du Colloque « Vers des systèmes de culture innovants et performants : De la théorie à la pratique pour concevoir, piloter, évaluer, conseiller et former » (Colloque Ciag, octobre 2011). Innovations agronomiques 20, 153-153.
- Projet SEFerSol, 2021. <https://polemaraichage.com/experimentations/sefersol/>
- Schonbeck M., Jerkins D., Ory J., 2017. Soil Health and Organic Farming. Weed management: an ecological approach. Organic Farming Research Foundation, 38p.
- Treuvey N. et Pierre S-P., 2013. Désherbage par occultation en maraichage : synthèse de six années d'essais à la SERAIL. Actes des journées techniques fruits et légumes biologiques ITAB/GRAB des 11-12 décembre 2013, 104-108.