



Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY 4.0). La citation comme l'utilisation de tout ou partie du contenu de cet article doit obligatoirement mentionner les auteurs, l'année de publication, le titre, le nom de la revue, le volume, le numéro de l'article et le DOI.

L'eau dans les sols méditerranéens au cœur de la transition agroécologique

Juan David DOMINGUEZ BOHORQUEZ^{1,2}

¹ Société du Canal de Provence, Le Tholonet, CS 70064, 13182 Aix-en-Provence Cedex 5, France.

² G-EAU, INRAE, AgroParisTech, Cirad, IRD, Montpellier SupAgro, Univ Montpellier, BP 5095, 34196 Montpellier Cedex 5, France.

Correspondance : Juan David DOMINGUEZ BOHORQUEZ , juan-david.dominguez-bohorquez@inrae.fr

Dans les régions méditerranéennes, l'irrigation s'impose comme une réponse cruciale face aux défis climatiques afin de préserver les rendements agricoles et l'équilibre hydrique des sols. La transition vers une agriculture agroécologique, notamment par l'adoption de l'agriculture de conservation des sols (ACS), émerge comme une solution prometteuse pour limiter les prélèvements d'eau. Un projet de recherche porté par la Société du Canal de Provence et INRAE se concentre sur l'évaluation des effets de l'ACS sur les propriétés du sol et la gestion de l'irrigation, avec des résultats préliminaires encourageants et une finalisation prévue pour la fin de 2024.

Vers une meilleure gestion de l'eau en Méditerranée grâce à l'agroécologie ?

Dans le contexte méditerranéen actuel, les changements climatiques en cours, marqués par des périodes de sécheresse plus fréquentes et des températures en hausse, ont un impact significatif sur l'évapotranspiration des cultures et l'équilibre hydrique des sols (GIEC/IPCC, 2014)¹. Face à cette réalité, l'irrigation émerge comme une solution potentielle pour atténuer les effets de la sécheresse et garantir la durabilité des activités agricoles. Cependant, son utilisation peut entraîner des conflits avec d'autres usagers de la ressource en eau. En France, l'agriculture représente environ 12 % des prélèvements d'eau nationaux. Dans les régions méridionales comme l'Occitanie, la Provence-Alpes-Côte d'Azur (PACA) et la Corse, les prélèvements pour l'irrigation représentent près de la moitié des prélèvements totaux, principalement issus des ressources en eaux de surface (EauFrance, 2019). L'expansion des zones irriguées nécessiterait des prélèvements d'eau supplémentaires difficilement envisageables. Face à ces défis, la transition vers une agriculture agroécologique apparaît comme une voie prometteuse pour développer des pratiques d'irrigation

plus résilientes, combinant adaptation aux changements climatiques et gestion efficace de la ressource en eau. L'agriculture de conservation des sols (ACS) représente l'une de ces approches agroécologiques, visant à améliorer la santé et la qualité des sols. Ce type d'agriculture, basée sur la réduction du travail du sol, le maintien d'une couverture permanente et la diversification des cultures, modifie les caractéristiques du sol. Elle favorise l'infiltration de l'eau, diminue l'évaporation du sol et accroît la rétention d'eau disponible pour les cultures comme exposé par Page *et al.* (2020) et le projet BAGAGES (Chambre d'agriculture Occitanie, 2021). Le facteur temporel revêt une importance cruciale, puisque la durée de pratique de l'ACS influence considérablement l'évolution des fonctions du sol (Ghaley *et al.*, 2018). Ces effets sont plus prononcés dans des systèmes établis depuis plus de cinq ans, offrant une disponibilité prolongée en eau pendant les cycles de culture en diminuant les pertes potentielles d'eau d'irrigation. Ainsi, appliquée à l'agriculture irriguée, l'ACS pourrait optimiser l'utilisation de l'eau de pluie et d'irrigation, contribuant à renforcer la résilience de l'agriculture face aux aléas de sécheresse (Mastrorilli et Zucaro, 2016).

1. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat / Intergovernmental Panel on Climate Change.

Dynamique du bilan hydrique et gestion quantitative de l'irrigation des systèmes en transition vers l'agriculture de conservation des sols (ACS)

Actuellement, à la Société du Canal de Provence (SCP), un projet de recherche se penche sur la gestion de l'eau en agroécologie. Depuis 2021, une thèse, menée en collaboration avec l'unité mixte de recherche G-EAU² (INRAE Montpellier), s'intéresse à la dynamique du bilan hydrique du sol et à la gestion de l'irrigation au sein des systèmes méditerranéens de grandes cultures en transition vers l'agriculture de conservation des sols (ACS). L'objectif principal de cette recherche est de caractériser l'évolution des propriétés du sol lors de l'adoption de l'ACS et d'évaluer sa performance en termes de gestion de l'irrigation. Trois objectifs clés structurent ce projet (figure 1) : dans un premier temps, il s'agit de caractériser les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol, ainsi que les performances d'irrigation des agrosystèmes à partir de mesures effectuées dans deux sites distincts (figure 2) : un site expérimental situé à Montpellier en ACS depuis 2020, avec des parcelles en grandes cultures (maïs-sorgho-soja) comparées avec des parcelles en labour conventionnel (LAB) irriguées par aspersion (ASP), goutte-à-goutte enterré (GGE) et non irriguées (PLUV), ainsi que quatre parcelles irriguées d'agriculteurs dans la Vallée de la Durance, à différents stades de transition vers l'ACS.

Le deuxième volet de l'étude consiste à évaluer l'adaptation des pratiques d'irrigation au sein des exploitations agricoles de la région PACA qui ont déjà adopté l'ACS. Cette évaluation se fait à travers des enquêtes individuelles menées auprès des agriculteurs avec l'objectif d'explorer les pratiques culturales et d'irrigation des agriculteurs, ainsi que les défis rencontrés lors de la transi-

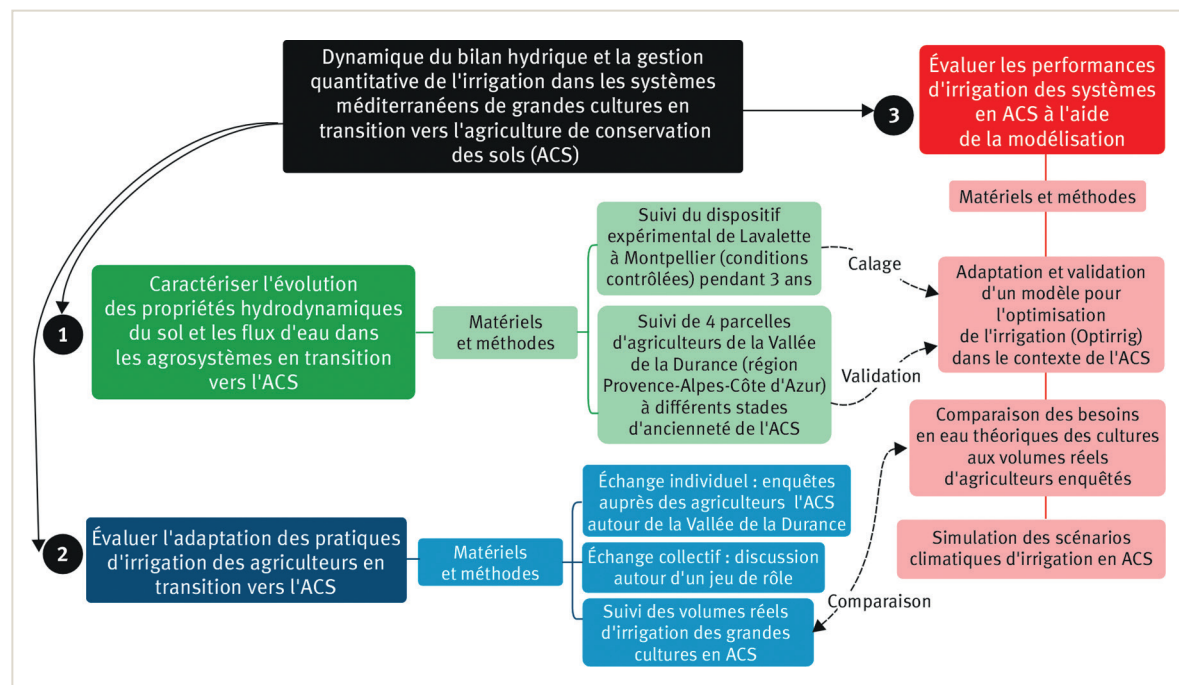
tion vers l'ACS et son influence sur la gestion de l'irrigation. Pour compléter les données issues des enquêtes, des échanges collectifs avec les agriculteurs sont encouragés, notamment à travers un jeu de rôle sérieux appelé « Sol en scène », élaboré en collaboration avec Lisode, une société coopérative spécialisée dans l'ingénierie de la concertation. Ces échanges permettront d'identifier les obstacles et les avantages liés à la production de grandes cultures en ACS dans les régions méditerranéennes. De plus, afin de connaître en temps réel les volumes d'irrigation utilisés, des compteurs connectés sont installés dans les systèmes d'irrigation des parcelles des agriculteurs participant à l'enquête.

Le troisième objectif implique l'adaptation d'outils de modélisation pour simuler et optimiser les scénarios d'irrigation dans le contexte des grandes cultures en ACS. Cette démarche de modélisation commence par une analyse de la littérature visant à identifier les paramètres, variables et processus spécifiques liés à l'ACS. Ensuite, en se basant sur les données de terrain collectées sur les sites d'étude mentionnés précédemment, le modèle Optirrig, développé en particulier pour la génération, l'analyse et l'optimisation des scénarios d'irrigation (Cheviron *et al.*, 2020) sera adapté et validé pour la simulation des scénarios d'irrigation en ACS. Ce modèle permettra de comparer les besoins en eau des cultures théoriques calculés par le modèle et les volumes d'irrigation réellement appliquée par les agriculteurs. Le développement de ce modèle a été réalisé en collaboration avec l'équipe « Optimiste » de l'UMR G-EAU.

Quelques premiers résultats

Des résultats initiaux ont déjà été valorisés, notamment par la participation à un article lors d'un congrès international (Dominguez-Bohorquez *et al.*, 2023) portant sur le premier objectif, qui concerne la caractérisation des

Figure 1 – Schéma synthétique des objectifs, matériels et méthodes de la thèse.



propriétés hydrodynamiques du sol en ACS. Le troisième objectif, qui traite de l'évaluation de la performance de l'irrigation en ACS à l'aide de la modélisation, est moins avancé mais est également abordé ci-dessous.

L'encadré 1 présente quant à lui les différentes approches explorées pour le deuxième objectif, qui vise à évaluer l'adaptation des pratiques d'irrigation des agriculteurs en transition vers l'ACS. Il décrit également comment les données recueillies auprès des acteurs sur le terrain seront confrontées au modèle.

Objectif 1 : caractériser l'évolution des propriétés hydrodynamiques du sol et les flux d'eau dans les agrosystèmes en transition vers l'ACS

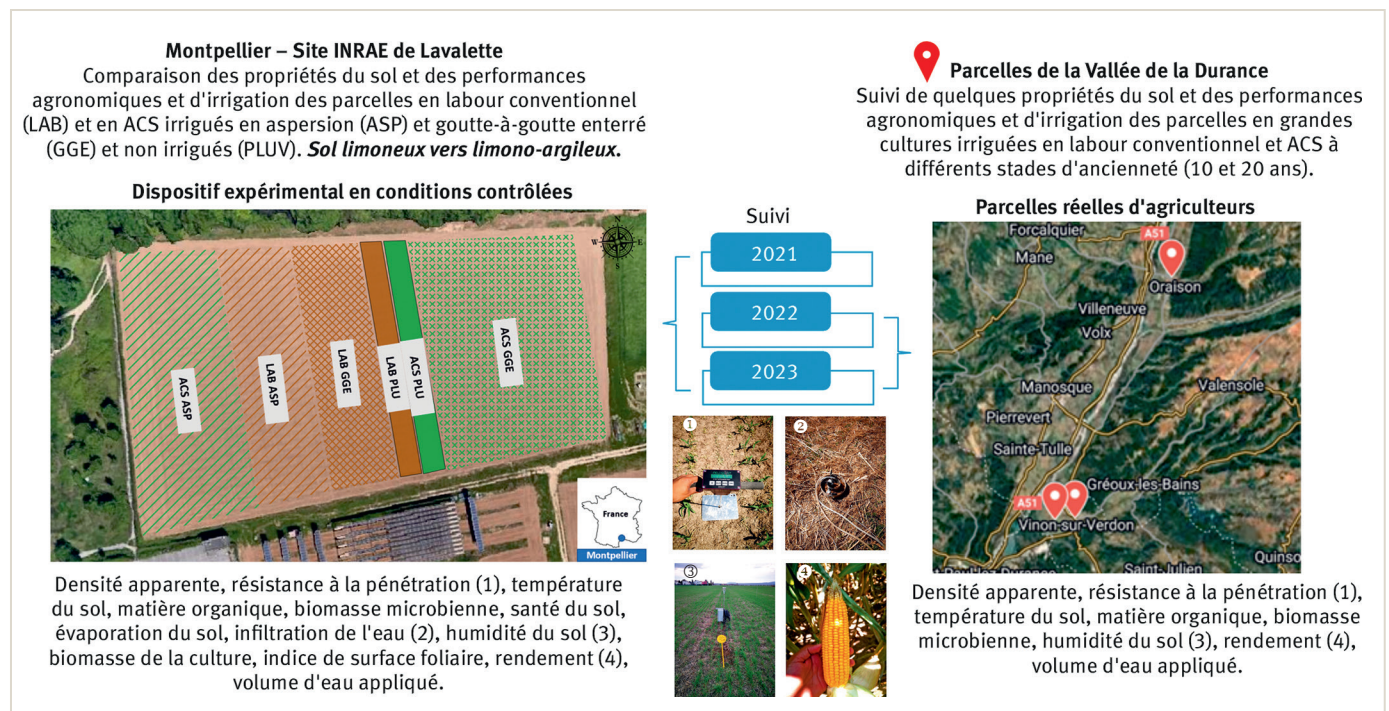
Site expérimental Lavalette : effets à court terme de l'ACS

Au cours des deux premières années de suivi, des résultats préliminaires contrastés ont été observés entre les traitements en agriculture de conservation des sols (ACS) et labour conventionnel (LAB). D'abord, des effets immédiats de l'ACS sur les propriétés du sol et des indicateurs du développement végétatif ont été observés (tableau 1).

Tableau 1 – Impact des pratiques (labour-ACS) et des systèmes d'irrigation (aspersion ASP, goutte-à-goutte enterré GGE, pluvial PLUV) sur les variables observées pendant les deux premières années après la transition vers l'ACS.

Paramètre observés	2021-2022		
	Pratique (ACS/LAB)	Système d'irrigation Irrigation (ASP, GGE, PLUV)	Interaction Pratique : Irrigation
Indice de surface foliaire	Effet significatif. Valeurs inférieures en ACS.	Effet significatif. Valeurs supérieures en ASP.	Pas d'effet significatif.
Rendement (g/plant)	Effet significatif. Valeurs inférieures en ACS.	Effet significatif. Valeurs supérieures en ASP.	Pas d'effet significatif.
Densité apparente	Pas d'effet significatif.	Pas d'effet significatif.	Pas d'effet significatif.
Température du sol (moyenne entre 3 et 10 cm du sol)	Effet significatif. Moindre fluctuation de la température du sol en ACS.	Effet significatif. Température du sol en surface inférieure en ASP.	Effet significatif.
Résistance à la pénétration du sol	Effet significatif. Valeurs supérieures en ACS.	Pas d'effet significatif.	Effet significatif.
Vitesse d'infiltration	Effet significatif. Valeurs inférieures en ACS.	Pas d'effet significatif.	Effet significatif.
Évaporation du sol	Pas d'effet significatif.	Effet significatif. Valeurs supérieures en ASP.	Pas d'effet significatif.

Figure 2 – Dispositif expérimental de Lavalette (à gauche) et parcelles d'agriculteurs de la Vallée de la Durance (à droite) pour le suivi des propriétés du sol et les performances agronomiques et d'irrigation.



D'une part, les traitements en ACS ont présenté une densité apparente du sol accrue, une résistance à la pénétration plus élevée et une infiltration d'eau réduite, notamment ceux avec irrigation en goutte-à-goutte enterré (GGE) et ceux en pluvial (PLUV). Ces effets combinés, potentiellement associés à un stress hydrique, ont directement diminué le développement foliaire, le rendement et la productivité de l'eau, particulièrement en 2022. En parallèle, les traitements ACS ont montré une variation de température du sol moins prononcée que les traitements en LAB grâce à la présence de résidus à la surface du sol, ce qui peut favoriser l'activité microbienne et la décomposition des matières organiques. Il est important de souligner que les traitements irrigués par aspersion (ASP) ont présenté moins d'effets adverses à la fois dans les traitements en ACS et en LAB, mais ont affiché des valeurs plus élevées d'évaporation du sol à cause d'une humidité plus prolongée en surface. À court terme, les effets observés mettent en évidence un problème de compactage potentiellement attribuable à l'abandon du labour du sol et au passage de machines pour des activités telles que le semis et le contrôle des adventices, ce qui a un impact direct sur la croissance des plantes. Cela souligne l'importance d'évaluer l'état initial du sol et de le préparer éventuellement avant d'adopter les pratiques de l'agriculture de conservation des sols. Il pourrait être nécessaire d'adapter spécifiquement les pratiques en fonction du type de sol identifié.

Parcelles agriculteurs PACA : effets à long terme de l'ACS

Une comparaison a été entreprise entre une parcelle en labour conventionnel (LAB) et d'autres menées en ACS depuis dix et quinze ans. Les premières analyses ont révélé des différences marquées entre ces parcelles en termes d'indicateurs biologiques du sol. La figure 3 présente, en pourcentage, le potentiel de rendement de blé obtenus par les agriculteurs en 2022, ainsi que des valeurs de certains indicateurs de l'activité biologique du sol sur les vingt premiers centimètres. Ces résultats initiaux indiquent que les parcelles en ACS stabilisées fournissent des conditions de sol favorables à une acti-

tivité biologique accrue en surface, contrastées à celle en labour conventionnel, où les indicateurs d'activité biologique sont plus faibles.

Il est intéressant de noter que les rendements atteints dans les parcelles sous ACS depuis quinze ans sont comparables à ceux de la parcelle en labour conventionnel. Cela suggère que, dans un contexte méditerranéen, l'ACS pourrait permettre la durabilité des sols tout en conservant des niveaux de productivité similaires à ceux des systèmes conventionnels. Toutefois, il est important de prendre en compte que la gestion des parcelles en ACS présente des freins techniques propres à chaque système. Par exemple, bien que la parcelle en ACS depuis dix ans présente des conditions biologiques plus favorables en surface par rapport à la parcelle conventionnelle, des limites dans sa gestion intrinsèque (gestion azotée, gestion d'irrigation, entre autres) peuvent limiter l'atteinte des rendements escomptés. Une analyse approfondie sur l'état hydrique de l'eau dans le sol sera réalisée afin d'étudier le lien entre le type de pratique et ses effets sur le bilan hydrique du sol.

Objectif 3 : évaluer les performances d'irrigation des systèmes en ACS à l'aide de la modélisation

Les données expérimentales et les équations théoriques sont utilisées pour adapter le modèle Optirrig au contexte de l'ACS afin de simuler divers scénarios d'irrigation. À l'heure actuelle, des étapes de validation du modèle sont en cours (figure 4), dans le but d'évaluer la pertinence des ajustements apportés au modèle ainsi que la précision des paramètres utilisés pour son fonctionnement. Pour ce faire, des variables observées sur le terrain, telles que le statut hydrique du sol (niveau d'eau dans le sol), le développement des cultures (indice de surface foliaire), entre autres, sont comparées aux résultats du modèle, ce qui permet d'améliorer la représentation des processus lors de la simulation. L'objectif final est de pouvoir simuler les scénarios d'irrigation des agriculteurs pratiquant l'ACS, afin d'évaluer les possibilités d'amélioration de l'efficacité de l'irrigation ainsi que les différents scénarios climatiques, dans le contexte actuel du changement climatique.

Figure 3 – Pourcentages de rendement potentiel du blé réalisés par les agriculteurs de la Vallée de la Durance en 2022 (à gauche) et valeurs de quelques indicateurs de l'activité biologique du sol (à droite). Les parcelles sont menées en ACS depuis quinze et dix ans, et comparées à une parcelle en labour conventionnel (LAB).

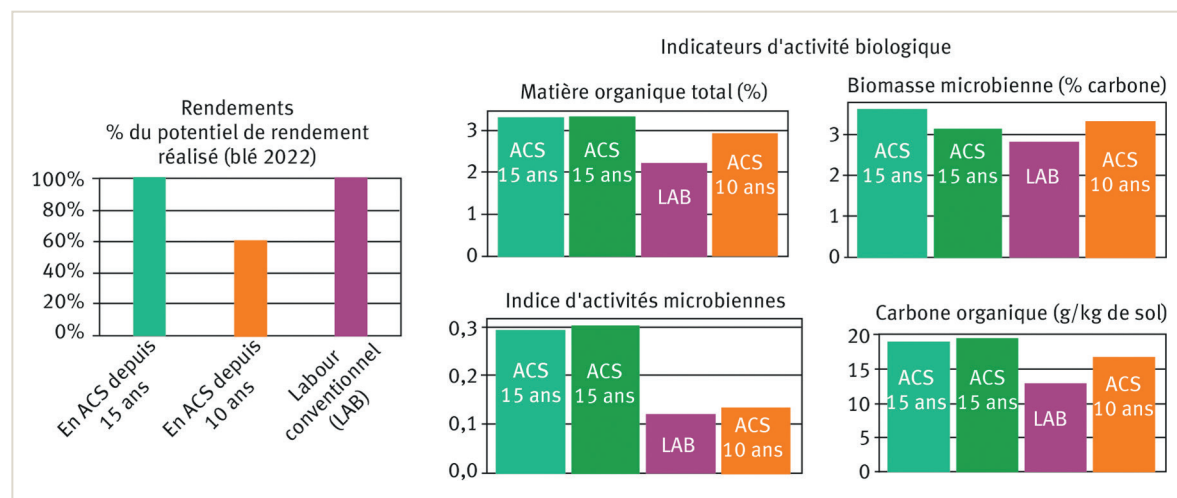
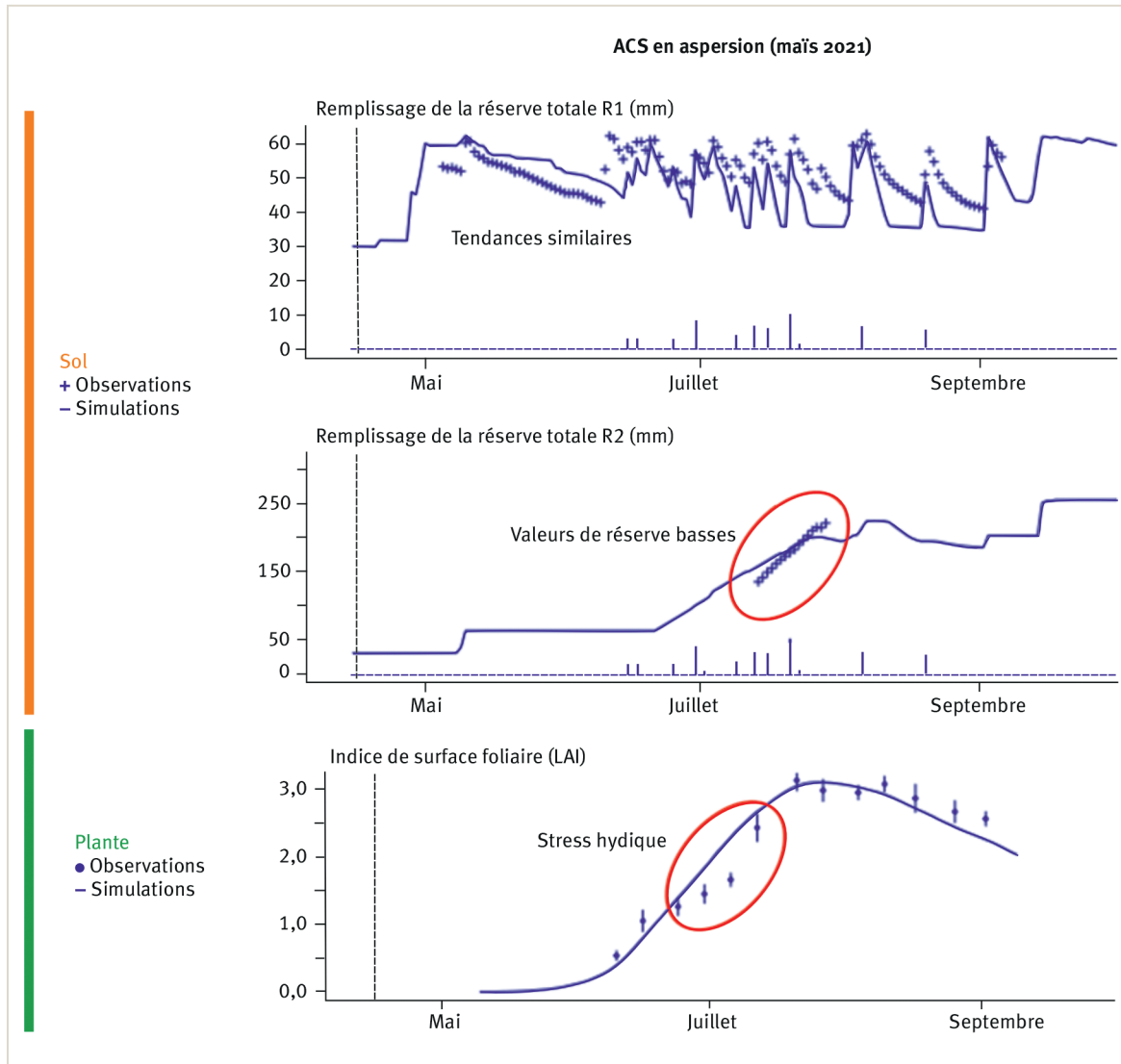


Figure 4 – Simulation du scénario d'irrigation du maïs en 2021 (Lavalette) pour la validation du modèle Optirrig dans le contexte de l'ACS.



Conclusion

Un nombre croissant d'études souligne l'importance d'adopter des pratiques agroécologiques telles que l'agriculture de conservation des sols en raison de ses nombreux avantages pour la fertilité des sols. L'impact de ces pratiques sur le bilan hydrique du sol et sur l'efficacité de l'utilisation de l'eau varie en fonction du contexte pédoclimatique et des pratiques adoptées par les agriculteurs.

À l'heure actuelle, les résultats soulignent que l'agriculture de conservation a des effets immédiats sur les propriétés hydrodynamiques du sol et la productivité de l'eau d'irrigation. Ces effets peuvent être variés en fonction du contexte agropédoclimatique, avec des adaptations sur les pratiques de conservation du sol diverses. De plus, ces résultats mettent en évidence l'importance de la temporalité dans ce type d'agriculture pour obtenir les avantages escomptés, observés généralement dans les agrosystèmes où les pratiques de conservation sont appliquées sur le long terme.

Les résultats actuels, bien qu'au stade préliminaire, seront enrichis par les analyses en cours. Ensuite, une analyse croisée des différents axes étudiés sera développée pour présenter les conclusions clés du travail et offrir des perspectives concrètes. La finalisation de ce projet de thèse est prévue pour la fin de l'année 2024. ■

Encadré 1 – Objectif 2 : évaluer l'adaptation des pratiques d'irrigation des agriculteurs en transition en agriculture de conservation des sols.

Le deuxième objectif de la thèse vise à examiner le rôle de l'eau et la gestion de l'irrigation dans les agrosystèmes méditerranéens en agriculture de conservation des sols (ACS). En collaboration avec Arvalis à Gréoux-les-Bains et AgriBio 04 (association qui regroupe les producteurs biologiques des Alpes de Haute-Provence), un réseau composé d'environ quinze agriculteurs pratiquant l'ACS en grandes cultures a été identifié et mobilisé pour participer aux enquêtes, au jeu de rôle « Sol en scène » et à l'installation de compteurs à la parcelle. Ces agriculteurs ont été sélectionnés pour leur engagement à adopter des pratiques de conservation des sols spécifiques aux grandes cultures, adaptées à leur agrosystème (climat, type de sol, type de production, etc.), dans le but d'améliorer la fertilité des sols.

Dans un premier temps, les enquêtes ont été conçues afin de caractériser la gestion de l'irrigation par les agriculteurs et évaluer son éventuelle adaptation au contexte de l'ACS. Pour cela, un questionnaire exhaustif, comportant des questions à la fois quantitatives et qualitatives, a été élaboré comme base des entretiens individuels menés avec chaque agriculteur (photo 1 à gauche). Parallèlement, le jeu de rôle « Sol en scène » a été coconstruit dans le but d'identifier collectivement les freins et motivations, ainsi que les facteurs liés à la gestion de l'eau qu'il faut prendre en compte lors de l'adoption de ces pratiques. La construction de ce jeu a impliqué plusieurs tests auprès de différents acteurs de la gestion de l'eau agricole : ces tests ont été réalisés afin d'améliorer à la fois la forme et le contenu du support qui a permis la discussion collective avec les agriculteurs lors d'un atelier (photo 1 à droite).

Enfin, les données sur la consommation d'eau d'irrigation des parcelles, obtenues à partir des enquêtes et confirmées par les relevés des compteurs connectés, seront utilisées pour comparer l'efficacité et la productivité de l'eau d'irrigation entre les différentes pratiques (par exemple, ACS versus conventionnel, et ACS un an versus ACS vingt ans). Les résultats obtenus sont actuellement en phase d'analyse et seront valorisés dans le document final de thèse.

Photo 1 – Réalisation des enquêtes (à gauche) et atelier du jeu « Sol en scène » (à droite) auprès des agriculteurs.



RÉFÉRENCES

- Chambre d'agriculture Occitanie. (2021). *BAG'AGES : Bassin Adour-Garonne, quelles performances des pratiques agroécologiques ?*. Consulté le 17/06/2024 sur <https://occitanie.chambre-agriculture.fr/agroenvironnement/agroecologie/bagages/>
- Chevron, B., Serra-Wittling, C., Dominguez-Bohorquez, J., Molle, B., Lo, M., Elamri, Y., & Delmas, M. (2020). Efficience et optimisation de l'irrigation : le modèle Optirrig. *Sciences Eaux & Territoires*, (34), 66-71. <https://doi.org/10.14758/SET-REVUE.2020.5.12>
- Dominguez-Bohorquez, J., Wittling, C., Bouarfa, S., Urruty, N., Chevron, B., Lopez, J.-M., & Babity, M. (2023). Evolution of hydrodynamic soil properties in the early stages after conservation agriculture adoption in mediterranean irrigated systems. In *Tackling Water Scarcity in Agriculture* (pp. 257-258). Visakhapatnam: ICID. https://icid-ciid.org/icid_data_web/25th_Cong_AbstractVolume.pdf
- Eaufrance. (2019). *Bulletin n°5 : prélèvements quantitatifs sur la ressource en eau*. 12 p. https://www.eaufrance.fr/sites/default/files/2019-03/bnpe_2016_201903.pdf
- GIEC/IPCC. (2014). Changements climatiques 2014. Rapport de synthèse. Contribution des Groupes de travail I, II et III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Sous la direction de l'équipe de rédaction principale, R.K. Pachauri et L.A. Meyer]. GIEC, Genève, Suisse, 161 p. Consulté le 17/06/2024 sur https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_fr.pdf
- Ghaley, B., Rusu, T., ... Liebig, M. (2018). Assessment of benefits of conservation agriculture on soil functions in arable production systems in Europe. *Sustainability*, 10(3), 794. <https://doi.org/10.3390/su10030794>
- Mastrorilli, M., & Zucaro, R. (2016). Towards sustainable use of water in rainfed and irrigated cropping systems: Review of some technical and policy issues. *AIMS Agriculture and Food*, 1(3), 294-314. <https://doi.org/10.3934/agrfood.2016.3.294>
- Page, K. L., Dang, Y. P., & Dalal, R. C. (2020). The ability of conservation agriculture to conserve soil organic carbon and the subsequent impact on soil physical, chemical, and biological properties and yield. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00031>