

9

› L'évaluation des pratiques d'irrigation en France

37

› La transition écologique et l'eau

71

› L'évaluation à l'échelle territoriale d'aménagements hydrauliques pour les territoires agricoles par l'analyse de cycle de vie

81

› La gouvernance territoriale de l'eau et la prospective

N° 45 - 2024

# Sciences Eaux & Territoires



**ANTICIPER POUR MIEUX PLANIFIER :  
QUELLE DEMANDE EN EAU  
POUR QUELLE AGRICULTURE DE DEMAIN ?**

**INRAE**



## Éditorial

- 1 **Anticiper pour mieux planifier : quelle demande en eau pour quelle agriculture demain ?**  
Sami BOUARFA, Delphine LEENHARDT, Pierre COMPERE,  
Dominique COURAULT, Gilles BELAUD, Salomé SCHNEIDER

## Introduction

- 3 **La France agricole face à la sécheresse : regards croisés de représentants d'institutions nationales, régionales et locales d'Occitanie**  
Pierre COMPÈRE, Nathalie BERTRAND, Karine BONACINA,  
Mélanie BONNEAU, Alain HALMA, Nicolas URRUTY

## L'évaluation des pratiques d'irrigation en France

- 11 **Vers une augmentation structurelle de l'irrigation ? Enseignements du recensement agricole de 2020**  
Alice SCOTTI, Sébastien LOUBIER
- 21 **Contribution de la télédétection pour caractériser les zones irriguées et les prélèvements d'eau pour l'irrigation**  
Dominique COURAULT, Gilles BELAUD, Valérie DEMAREZ,  
Nicolas BAGHDADI, Jean-Stéphane BAILLY
- 31 **Efficacité de l'irrigation à la parcelle. Quelles marges de manoeuvre pour des économies d'eau ?**  
Claire WITTLING

## La transition écologique et l'eau

- 39 **Utiliser les racines pour moduler les impacts des déficits en eau et améliorer la gestion de l'eau dans les agrosystèmes**  
Claude DOUSSAN, Samuel LE GALL, Stéphane RUY, Annette BÉRARD
- 43 **L'eau dans les sols méditerranéens au coeur de la transition agroécologique**  
Juan David DOMINGUEZ BOHORQUEZ
- 49 **Évaluation des performances des systèmes de cultures en agriculture de conservation des sols et du matériel d'irrigation**  
Florine LACAZE, Élise AUDOUIN, Christophe BONILLO,  
Ludovic LHUISSIER



- 59 **Accompagnement des agriculteurs dans la transition agroécologique pour les économies d'eau**  
Élise AUDOUIN, Anna ROCHWERGER, Florine LACAZE,  
Christophe BONILLO, Ludovic LHUISSIER
- 67 **Le projet CARG'EAU accompagne la transition des exploitations vers des systèmes résilients et économes en eau**  
Fabienne GUYOT, Lauriane MOREL, Mireille BRUN,  
Benoît LOUCHARD, Rachel L'HELGOUALC'H



## L'évaluation à l'échelle territoriale d'aménagements hydrauliques pour les territoires agricoles par l'analyse de cycle de vie

- 73 **Application de l'analyse de cycle de vie aux infrastructures hydrauliques : retours d'expérience de deux sociétés d'aménagement régional**  
Agata SFERRATORE, Nicolas GÉHÉNIU
- 77 **Évaluer les performances environnementales de scénarios d'aménagement d'irrigation dans un contexte de changement climatique. Apports de l'analyse du cycle de vie territoriale**  
Nicolas ROGY, Agata SFERRATORE, Nicolas GÉHÉNIU,  
Éléonore LOISEAU

## La gouvernance territoriale de l'eau et la prospective

- 83 **Le diagnostic agraire : comprendre les trajectoires d'évolution de l'agriculture locale pour nourrir les prospectives sur l'eau à l'échelle territoriale**  
Ariane DEGROOTE, Sophie DEVIENNE, Frank MICHEL
- 93 **Partage de la ressource en eau : quelle méthode prospective pour une gestion concertée de l'eau plus effective et plus efficace ?**  
Pierre COMPÈRE, Christophe VIVIER, Ludovic LHUISSIER,  
Nina GRAVELINE





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.

## Anticiper pour mieux planifier : quelle demande en eau pour quelle agriculture demain ?

### Éditorial

**Sami BOUARFA<sup>1</sup>, Delphine LEENHARDT<sup>1</sup>, Pierre COMPERE<sup>2</sup>, Dominique COURAULT<sup>3</sup>, Gilles BELAUD<sup>1</sup>, Salomé SCHNEIDER<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> UMR G-EAU, INRAE, AgroParisTech, Cirad, IRD, Montpellier SupAgro, Univ. Montpellier, 34196 Montpellier Cedex 5, France.

<sup>2</sup> Explicite Conseil, 31300 Toulouse, France.

<sup>3</sup> UMR EMMAH, INRAE, Avignon Université, 84914 Avignon Cedex 9, France.

**Correspondance : Salomé SCHNEIDER, [salome.schneider@supagro.fr](mailto:salome.schneider@supagro.fr)**

Dans un contexte marqué par les défis croissants posés par le changement climatique, la question de la disponibilité en eau et de son utilisation par l'agriculture revêt une importance capitale pour notre avenir. L'évolution récente des prélèvements agricoles et les réflexions sur la quantification précise des ressources en eau sont au cœur des débats stratégiques autour de la gestion de l'eau. La compréhension des trajectoires d'évolution de l'agriculture à différentes échelles territoriales apparaît comme étant essentielle pour anticiper et planifier efficacement nos politiques futures dans le cadre de réflexions concertées.

L'agriculture est en première ligne de tensions sur la ressource en eau, alors même que d'immenses attentes sociétales s'exercent déjà sur le secteur : sécurité et souveraineté alimentaire et économique, transition agro-écologique, préservation et restauration des milieux aquatiques, décarbonation... Les objectifs d'économie d'eau demandés au secteur agricole sont-ils compatibles avec ces attentes sociétales, et réciproquement ? De quels outils de prospective et d'évaluation dispose-t-on pour répondre à ces questionnements ?

Il devient ainsi impératif d'agir aujourd'hui pour anticiper demain, en engageant une concertation entre les différents acteurs de l'eau et de l'agriculture. Du dialogue territorial à la prise de décision, une planification réfléchie et collective sera nécessaire pour relever les défis qui nous attendent et assurer une gestion durable des ressources en eau.

En réunissant la communauté professionnelle de l'eau et de l'agriculture, le colloque « Anticiper pour mieux planifier : quelle demande en eau pour quelle agriculture demain ? » a permis de faire le point sur les méthodes mobilisables et les actions engagées pour améliorer l'anticipation de la demande en eau agricole à l'horizon 2050, tout en soulevant des questions cruciales : sur quelles données de base se fonde la gestion de la ressource en eau ? Quel est le degré de fiabilité de ces données, et que nous disent-elles sur la situation et les tensions actuelles et à venir ? Cet événement a été organisé le 28 septembre 2023 par la Chaire partenariale Eau, Agriculture et Changement Climatique, le réseau INRAE « Systèmes agricoles et Eau » et le pôle Aqua-Valley.

L'adaptation au changement climatique et la promotion de pratiques agricoles durables, minimisant les besoins en eau d'irrigation, ont été au cœur des échanges et constituent le cœur de ce numéro spécial.

La planification doit s'appuyer sur une meilleure connaissance des usages actuels, comme le recensement agricole de 2020 l'a permis avec une connaissance encore imparfaite des zones effectivement irriguées et des pratiques associées. Des méthodes d'analyse globale seront également utiles pour évaluer les scénarios d'aménagement. Le colloque « Analyse du cycle de vie et décision publique », co-organisé en 2023 par la Société du Canal de Provence, l'association Eau, Agriculture et Territoire et la chaire ELSA-PACT a notamment abordé la question des infrastructures hydrauliques pour l'alimentation en eau des territoires agricoles. Deux articles illustrent les apports de l'analyse du cycle de vie (ACV) comme méthode d'évaluation de ces aménagements.

Dans ce numéro, la question de la demande en eau est explorée sous quatre angles complémentaires :

- l'évaluation des pratiques d'irrigation en France : l'irrigation est examinée au prisme de son efficacité à l'échelle de la parcelle, son évolution récente en France, le potentiel et les limites actuelles de son évaluation par télédétection ;
- la transition agroécologique : comment mieux valoriser le sol, comment accompagner les agriculteurs vers des pratiques agroéconomiques économes en eau ;
- l'évaluation à l'échelle territoriale d'aménagements hydrauliques pour les territoires agricoles par l'analyse de cycle de vie ;
- la gouvernance territoriale de l'eau et la prospective, avec notamment l'apport de l'analyse des trajectoires passées, et une restitution de regards croisés sur les méthodes de concertation et de prospective engagées sur des territoires sujets à de fortes tensions sur les ressources en eau.

Ces thématiques sont abordées à différentes échelles : du territoire à la plante. ■





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.

## La France agricole face à la sécheresse : regards croisés de représentants d'institutions nationales, régionales et locales d'Occitanie

Pierre COMPÈRE<sup>1</sup>, Nathalie BERTRAND<sup>2</sup>, Karine BONACINA<sup>3</sup>, Mélanie BONNEAU<sup>4</sup>, Alain HALMA<sup>5</sup>, Nicolas URRUTY<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Explicite Conseil, 31300 Toulouse, France.

<sup>2</sup> Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, Inspection générale de l'environnement et du développement durable, 92800 Puteaux, France.

<sup>3</sup> Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse, 34961 Montpellier Cedex 2, France.

<sup>4</sup> Agence d'urbanisme catalane Pyrénées Méditerranée, 66000 Perpignan, France.

<sup>5</sup> Chambre d'agriculture des Pyrénées Orientales, 66025 Perpignan Cedex, France.

<sup>6</sup> Société du Canal de Provence et d'aménagement de la région provençale, 13182 Aix-en-Provence Cedex 5, France.

Correspondance : Pierre COMPÈRE, [pierre@explicite-conseil.fr](mailto:pierre@explicite-conseil.fr)

*« Anticiper pour mieux planifier : Quelle demande en eau pour quelle agriculture demain ? », c'est sur ce thème que se sont retrouvés le 28 septembre 2023 à Montpellier, un groupe d'experts de l'eau issus des services de l'État, de collectivités, du monde universitaire et d'entreprises proposant des solutions. En introduction au colloque, des représentants d'institutions nationale, régionale et locale ont posé le cadre de la journée d'échanges, en présentant à leur échelle comment ils appréhendaient l'enjeu de la France agricole face à la sécheresse. Ils se sont appuyés notamment sur les retours d'expériences des récents épisodes de sécheresse de 2022 et 2023 dans le contexte des régions du Sud de la France.*

### NOTE DE L'AUTEUR

Ces échanges sont issus de la table ronde introductive du colloque intitulé « Anticiper pour mieux planifier : Quelle demande en eau pour quelle agriculture demain ? » organisé le 28 septembre 2023 à l'Institut Agro Montpellier par la chaire Eau « Agriculture et changement climatique » en partenariat avec le Réseau « Systèmes agricoles et eau » (INRAE) et le pôle de compétitivité Aqua-Valley, et animée par l'auteur de l'article.

Nous avons repris dans cet article les messages principaux des intervenants et les remerciements de s'être prêtés à cet exercice.

#### Nathalie BERTRAND

Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, Inspection générale de l'environnement et du développement durable<sup>1</sup>.

#### Karine BONACINA

Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse<sup>2</sup>, directrice de la délégation territoriale de Montpellier.

#### Mélanie BONNEAU

Agence d'urbanisme catalane Pyrénées Méditerranée (AURCA)<sup>3</sup>, responsable du pôle Transition écologique.

#### Alain HALMA

Chambre d'agriculture des Pyrénées Orientales<sup>4</sup>, directeur général adjoint, chef du service Territoires-Eau-Environnement.

1. L'Inspection générale de l'environnement et du développement durable (IGEDD) conseille le Gouvernement sur la transition écologique et énergétique, l'urbanisme, le logement, les mobilités, l'eau, la biodiversité... Ces activités se concrétisent par la production de rapports d'études (expertise, évaluation, aide à la décision), d'avis (sur tout document ou rapport) et de rapports d'inspection sur les domaines relevant des missions des sections.

2. L'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse est un établissement public du ministère chargé de l'environnement, dédié à la préservation de l'eau et des milieux aquatiques. Elle perçoit l'impôt sur l'eau payé par tous les usagers. Chaque euro collecté est réinvesti auprès des collectivités, acteurs économiques et agricoles pour lutter contre les pollutions et mieux utiliser l'eau disponible, à travers un programme pluriannuel d'intervention et l'animation de la concertation avec les parties prenantes.

3. L'Agence d'urbanisme est une structure d'ingénierie mutualisée qui accompagne les territoires dans leurs politiques d'aménagement et de développement local, et notamment les schémas de cohérence territoriale (SCOT), les plans locaux d'urbanisme intercommunaux (PLUI), mais aussi les plans climat-air-énergie territoriaux (PCAET) ou les périmètres de protection et de mise en valeur des espaces agricoles et naturels périurbains (PAEN). Elle concentre un panel d'expertises en urbanisme, agronomie, hydrologie, géomatique, architecture, paysagisme... L'AURCA rassemble plus de trente salariés et intervient sur les territoires des Pyrénées Orientales, de l'Aude et de l'Hérault. Elle est financée par des cotisations de ses membres (État, collectivités locales, région, département, EPCI, syndicat mixtes, Chambres consulaires, Université de Perpignan Via Domitia...) et par des subventions pour les accompagnements spécifiques. Le pôle Transition écologique regroupe les expertises liées à l'environnement, l'agriculture, l'énergie et le climat. <https://www.aurca.org/>

4. La Chambre d'agriculture est le porte-parole des intérêts agricoles auprès des pouvoirs publics. Son avis est sollicité par les autorités dès que l'agriculture est concernée par une décision ou un projet. Elle participe ainsi à de nombreuses commissions consultatives compétentes en matière d'orientation agricole, d'environnement, d'aménagement foncier, de développement rural, d'urbanisme, d'affaires sanitaires et sociales, d'enseignement et de recherche, de tourisme, de planification, d'organisation économique. La Chambre d'agriculture est un lieu de concertation entre les organismes agricoles. Elle joue un rôle de médiation et de proposition. Elle propose également de multiples services individuels ou collectifs à ses « ressortissants » : agriculteurs, forestiers, salariés agricoles, propriétaires, mais aussi filières agricoles et forestières, collectivités locales...

## Plusieurs rapports ministériels et interministériels se sont succédés sur les liens entre changement climatique, eau et agriculture, éclairant les politiques publiques, en particulier dans le prolongement de la sécheresse qu'a connue l'Europe et particulièrement la France en 2022...

**Nathalie BERTRAND**

*Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires*

En effet, nous pouvons citer trois d'entre eux : le rapport « Changement climatique, eau et agriculture : quelles trajectoires d'ici 2050 ? »<sup>5</sup> publié en décembre 2020 ; le rapport examinant des projets de territoire pour la gestion de l'eau – les PTGE – et ciblant l'importance de l'équilibre entre usages et disponibilité de la ressource en mai 2022<sup>6</sup> ; le rapport tirant les enseignements du retour d'expérience sur la gestion de l'eau lors de la sécheresse 2022 publié en mars 2023<sup>7</sup> et préfigurant le « Plan d'actions pour une gestion résiliente et concertée de l'eau » publié en août 2023.

Concernant le rapport Sécheresse 2022, il faut noter que c'est d'abord la question de l'eau potable qui a suscité cette commande par les ministres chargés de l'écologie, de l'intérieur, et de l'agriculture. Environ deux mille communes étaient alors en tension ou en rupture. Par son intensité, sa durée et son extension à tout le territoire national, la sécheresse 2022 a surpris l'ensemble des services concernés et a mis en évidence un niveau insuffisant de préparation à la gestion de ce type d'événement. Elle fait suite à plusieurs années de sécheresses récurrentes depuis 2018, à la seule exception de l'année 2021. Pourtant, ce phénomène aujourd'hui considéré comme extrême pourrait n'être qu'un épisode moyen d'ici la fin du XXI<sup>e</sup> siècle.

Parmi les enseignements d'alors, synthétisés dans ce rapport remis en amont de la campagne 2023, plusieurs voies d'amélioration de l'anticipation et de la gestion de telles crises ont été identifiées. Les critères de déclenchement des mesures progressives de restrictions sont ainsi à préciser et à harmoniser (vigilance, alerte, alerte renforcée, crise) pour raccourcir les délais à 3-4 jours entre le dépassement de seuils critiques et la mise en œuvre effective des actions. Une mesure de restriction est d'autant plus efficace qu'elle est adoptée immédiatement.

Nous avons aussi relevé d'intéressantes pratiques d'optimisation prises en anticipation dans les territoires les plus aguerris aux épisodes successifs de sécheresse. Leur renforcement et généralisation nécessitent une meilleur

leur connaissance en temps réel des prélèvements et des consommations, à l'aide de compteurs connectés permettant de réaliser un suivi dynamique des différents usages.

## Des données nécessaires aux collectivités notamment...

**Mélanie BONNEAU**

*Agence d'urbanisme catalane Pyrénées Méditerranée*

Au sein de l'Agence d'urbanisme catalane Pyrénées Méditerranée (AURCA), nous accompagnons des collectivités de profils très variés : communes, EPCI<sup>8</sup> département, région, syndicats... sur un territoire urbain, périurbain, ou rural, couvert ou non par un SAGE<sup>9</sup>, avec des niveaux d'ingénierie territoriale différents et des élus plus ou moins dédiés...

Quel que soit leur profil, elles n'ont pas en main toutes les données ni les moyens pour concevoir au mieux leurs projets et conduire, le cas échéant, leur évaluation environnementale. Ainsi à ce jour, nous n'avons pas une connaissance précise des prélèvements agricoles sur l'ensemble des nappes et cours d'eau du département des Pyrénées Orientales (PO). Il est difficile voire impossible (avec les moyens disponibles et les temps impartis) de connaître les prélèvements des différents usages sur les différentes ressources (qui peuvent être connectées par des maillages de réseaux) au cours du temps. Il est encore plus difficile de juger de ce fait de l'adéquation des besoins et des ressources dans le temps et dans l'espace. Or, la notion de pic de consommation est cruciale. Si l'on ajoute à cela l'évolution des ressources et des usages dans un futur plus ou moins proche... Notons tout de même que depuis début 2023, se déploie une initiative collective intéressante des gestionnaires de bassins versants des PO : le programme Eau'rizon 2070<sup>10</sup>. Au vu des premiers éléments, on risque toutefois de ne pas obtenir de résultats à une maille géographique assez fine pour répondre aux besoins des EPCI.

## Une sécheresse 2023 particulièrement forte dans les Pyrénées Orientales...

**Alain HALMA**

*Chambre d'agriculture des Pyrénées Orientales*

Les Pyrénées-Orientales comptent un peu plus de trois mille exploitations agricoles. Sans eau, l'agriculture des PO telle qu'on la connaît n'existera plus. Les systèmes d'irrigation puisent leur source principalement dans des rivières et fleuves côtiers et l'eau est ensuite distribuée via cinq mille kilomètres de canaux gérés par plus de

5. Changement climatique, eau, agriculture Quelles trajectoires d'ici 2050 ? Rapport CGEDD n°012819-01, CGAAER n°19056 établi par Hugues Ayphassorho, Nathalie Bertrand et François Mitteault (CGEDD), Charles Pujos, Dominique Rollin et Michel Sallenave (CGAAER), publié en juillet 2020.

6. Appui à l'aboutissement de projets de territoire pour la gestion de l'eau (PTGE). Examen de l'élaboration de quinze PTGE, identification de voies de progrès. Rapport CGEDD n°013 établi par Gérard Fallon (CGAAER) et Claude Gitton (CGEDD) (coordonnateurs); Nathalie Bertrand, Virginie Dumoulin, Pascal Kosuth (CGEDD); Philippe Allimant et Alain Joly (CGAAER).

7. Retour d'expérience sur la gestion de l'eau lors de la sécheresse 2022, rapport IGEDD n°014714-01, IGA n° 22087R, CGAAER n° 22105 établi par Nathalie Bertrand (IGEDD), Patricia Blanc (IGEDD), Pascale Cazein (CGAAER), Virginie KLES (IGA), Sophie Plante (IGA), mars 2023.

8. Établissement public de coopération intercommunale.

9. Schéma d'aménagement et de gestion des eaux.

10. Les Syndicats du Tech, de l'Agly, de la Têt, du Réart et la communauté de communes Pyrénées Cerdagne pour le bassin du Sègre, portent ensemble le projet Eau'rizon 2070 qui vise à réaliser un diagnostic de vulnérabilité du territoire au changement climatique et à identifier des solutions concertées d'adaptation à mettre en place.

deux cents associations syndicales autorisées (ASA) pour des usagers agricoles et potagers ; des ASA heureusement organisées en fédération pour limiter le nombre d'interlocuteurs et gagner en efficacité lors des concertations au sein des comités sécheresse.

Les années 2022 et 2023 ont été marquées par l'absence quasi totale de précipitations. Il s'agit là de la plus longue sécheresse jamais observée depuis le début des mesures. Là où il y avait des réserves (grâce à des barrages stockant l'eau issue de la fonte des neiges ou de la pluie), nous avons pu maintenir les niveaux d'étiage des cours d'eau, préserver des usages agricoles et fournir l'eau potable. On a pu observer la forte liaison entre les canaux d'irrigation et les nappes superficielles dans les zones irrigables. D'importantes mesures ont été prises par arrêté préfectoral avec une restriction de 50% minimum des volumes apportés aux cultures irriguées. Cette situation a provoqué des pertes très importantes de production sur l'ensemble des cultures et des mortalités de vergers et de vignes. Des problèmes aussi pour abreuver les animaux en montagne.

**Des crises amenées à se répéter qui, au-delà du conjoncturel, imposent de nous adapter structurellement au changement climatique, et d'adapter en particulier nos systèmes agricoles...**

**Karine BONACINA**

Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse

Les impacts du changement climatique sont aujourd'hui plus directement ressentis, en particulier dans la zone méditerranéenne. On voit clairement, au moins depuis 2009, que nous souffrons d'un déficit structurel en eau. Le changement climatique vient accentuer la fragilité de ces territoires avec une baisse des précipitations et une augmentation potentielle des usages du fait de la hausse de températures. Or, on ne pourra pas fabriquer l'eau qu'on n'aura pas.

Dans ce contexte, nous devons être toujours plus attentifs au partage équilibré entre les usages, mais aussi entre les usages et les milieux. Le bon état écologique des milieux est une condition de leur résilience et donc de notre capacité à nous adapter. Les élus des collectivités se sont aujourd'hui bien emparés de la question de l'adaptation : en Occitanie plus de 50% des budgets de l'agence sont alloués à cette question. Mais il faut aller plus vite et plus fort !

“ Pour ce qui concerne les Pyrénées Orientales, nous aurons besoin d'augmenter les surfaces équipées en irrigation pour pouvoir nous adapter au changement climatique ; même en faisant évoluer les assolements, en arrêtant les céréales, le maïs... Mais il ne s'agit pas nécessairement d'augmenter les volumes d'eau consommée pour autant ! ”

Alain Halma

“ Là où cela est possible et nécessaire, la mobilisation de la ressource en eau pour l'irrigation doit être couplée à des évolutions d'assolement et de pratiques culturales et se faire dans le respect de son renouvellement et du bon état des milieux. Et là aussi penser en termes de résilience... ”

Nathalie Bertrand

**Nathalie BERTRAND**

Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires

Si la sobriété doit être la règle pour tous les usages, elle s'applique en particulier à l'agriculture. Il faut une transformation en profondeur, massif d'un modèle agricole qui est aujourd'hui trop consommateur en eau et en intrants. Ainsi l'irrigation est loin d'être la seule solution à envisager pour adapter l'agriculture au changement climatique. Comme le mentionne déjà en 2020 le rapport « Changement climatique, eau, agriculture : quelles trajectoires d'ici 2050 ? », les systèmes agricoles doivent, accompagnés par la Politique agricole commune, tous évoluer pour être plus agroécologiques, protéger les sols et ainsi gagner en résilience. Là où cela est possible et nécessaire, la mobilisation de la ressource en eau pour l'irrigation doit être couplée à des évolutions d'assolement et de pratiques culturales et se faire dans le respect de son renouvellement et du bon état des milieux<sup>11</sup>. Et là aussi penser en termes de résilience<sup>12</sup>, viser la stabilité des rendements et des revenus plutôt que la recherche du rendement maximal une année donnée.

**Et du côté des ressources ?**

**Nathalie BERTRAND**

Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires

Du côté des ressources en eau, pour sécuriser l'alimentation de cette irrigation « de résilience », ce même rapport présentait différentes options techniques envisageables. Pour des raisons techniques, économiques, juridiques et environnementales, les retenues de substitution y sont considérées comme à privilégier, par une convergence des soutiens publics financiers et d'accompagnement des maîtres d'ouvrage (au détriment des retenues individuelles ou pseudo-individuelles, la construction de nouveaux barrages ou les transferts d'eau entre bassins). Le développement de techniques innovantes de réutilisation des eaux usées traitées<sup>13</sup> ou de recharge de nappes phréatiques offre également des perspectives intéressantes.

**Alain HALMA**

Chambre d'agriculture des Pyrénées Orientales

Nous avons en effet besoin de donner des perspectives structurelles aux producteurs vis-à-vis de l'accès à l'eau si nous ne voulons pas qu'ils abandonnent l'agriculture. Des aménagements sont indispensables pour sécuriser l'accès à l'eau. Pour ce qui concerne les PO pour le moins, nous aurons besoin d'augmenter les surfaces

11. Voir les autres contributions à ce numéro qui balaisent les différents leviers d'amélioration de l'efficacité de l'eau en agriculture (choix d'espèces et de variétés, pratiques agronomiques, solutions fondées sur la nature, pilotage de l'irrigation).

12. Voir l'encadré ci-après.

13. Voir la contribution dédiée à ce sujet.

équipées en irrigation pour pouvoir nous adapter au changement climatique ; même en faisant évoluer les assolements en arrêtant les céréales ou le maïs (pour les quelques-uns qui en faisaient) au profit de légumineuses... Mais il ne s'agit pas nécessairement d'augmenter les volumes d'eau consommée pour autant ! En optimisant les techniques d'irrigation, on peut faire beaucoup d'économies. Quatre-vingt-quinze pour cent des vergers sont déjà en goutte à goutte, mais le pilotage peut être plus fin. L'aspersion en zone de piémont sur fourrage doit remplacer le gravitaire. Certaines associations syndicales autorisées (ASA) ont d'ailleurs décidé au niveau de leur règlement intérieur d'interdire l'irrigation gravitaire pour certaines cultures.

**Le rapport « Changement climatique, eau et agriculture : quelles trajectoires d'ici 2050 ? » publié en décembre 2020 évoquait déjà une sensibilité variable et une maturité inégale des territoires vis-à-vis de la gestion collective de l'eau...**

#### Mélanie BONNEAU

Agence d'urbanisme catalane Pyrénées Méditerranée

La gouvernance eau/agriculture n'est pas toujours évidente, avec plusieurs instances et processus qui ne sont pas tous bien articulés. Ainsi, tous les territoires ne sont pas couverts par un SAGE, et ne disposent donc pas de Commission locale de l'eau. Et pour ceux qui en bénéficient, le SAGE s'impose aux documents d'urbanisme. Or les structures porteuses de ces SAGE ne sont pas nécessairement identifiées au titre de la loi comme « personnes publiques associées » (obligation d'être consultées) dans le processus d'élaboration de ces documents d'urbanisme, sauf si elles ont été reconnues en qualité d'établissement public territorial de bassin (EPTB) ou d'établissement public d'aménagement et de gestion de l'eau (EPAGE) – ce qui n'est pas encore le cas dans les PO. Plus généralement, les périmètres de déploiement des démarches et les calendriers ne sont pas nécessairement concordants.



*On peut penser qu'en matière agricole, les collectivités doivent monter en compétences et se doter de plus de moyens, au même titre que dans d'autres pans du développement économique, pour mieux assurer ces responsabilités que leur confère la loi.*



Mélanie Bonneau

#### Karine BONACINA

Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse

Nous avons besoin d'aller plus vite et plus fort sur la planification territoriale et concertée de l'adaptation au changement climatique<sup>14</sup>. Parmi les outils déjà en place servant une telle gouvernance concertée, on retrouve les projets de territoire pour la gestion de l'eau (PTGE) mais nous devons plus systématiquement les compléter par un volet « adaptation ».



*Parmi les outils déjà en place servant une telle gouvernance concertée, on retrouve les projets de territoire pour la gestion de l'eau (PTGE) mais nous devons plus systématiquement les compléter par un volet « adaptation ».*



Karine Bonacina

#### Nathalie BERTRAND

Ministère de la Transition écologique

et de la Cohésion des territoires

Il faut en effet redynamiser la gestion territoriale de l'eau en renforçant l'efficacité des PTGE, un outil qui se veut plus souple pour établir une gouvernance de l'eau. Dans le rapport de 2022, nous insistions sur l'importance d'intégrer l'ensemble des acteurs et des usages, ce doit permettre de valider collectivement et définitivement un diagnostic de l'état initial. Un diagnostic qui doit s'appuyer sur un travail d'analyse objectif, première étape pour pouvoir avancer. Plusieurs PTGE ont été mis en échec par défaut de diagnostic et d'études adoptés en comité de pilotage.

Nous recommandons par ailleurs dans le rapport de mai 2020 d'élargir les possibilités des collectivités d'assurer le portage de démarches et de la maîtrise d'ouvrage d'infrastructures liées à la gestion quantitative de l'eau.

**Les collectivités ont-elles les moyens d'assurer pleinement ces missions de gestion collective de l'eau ?**

#### Mélanie BONNEAU

Agence d'urbanisme catalane Pyrénées Méditerranée

Les collectivités (EPCI et Régions) sont légitimes pour se positionner encore plus fortement sur les questions agricoles et relatives à l'eau compte tenu de leurs domaines d'intervention prévues par la loi développement économique ; urbanisme et aménagement du territoire ; gestion des milieux aquatiques et prévention des inondations (GEMAPI) ; alimentation en eau potable et assainissement. Elles sont aussi chefs d'orchestre de la transition énergétique au travers de leur Plan climat, air, énergie territorial (PCAET, qui comporte un volet adaptation).

L'agriculture et l'eau sont au cœur de ces différents champs d'intervention. On peut penser qu'en matière agricole, les collectivités doivent monter en compétences et se doter de plus de moyens, au même titre que dans d'autres pans du développement économique, pour mieux assurer ces responsabilités que leur confère la loi.

#### Karine BONACINA

Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse

Pour accompagner les collectivités de notre bassin, nous proposons dans le cadre de notre plan d'adaptation au changement climatique un panel de solutions identifiées, contextualisées (notamment en fonction de la vulnérabilité des territoires). Des solutions fondées sur la nature, des solutions sans regret – c'est-à-dire pertinentes quelles que soient les évolutions du climat – mais surtout dans tous les cas, des solutions qui doivent nous éviter la « mal adaptation » pour éviter d'empirer la situation. ■

<sup>14</sup>. Voir la contribution « Regards d'experts » dédiée à ce sujet.

## 1 POINT DE VUE

### De l'irrigation du contrôle à l'irrigation de résilience ?

Nicolas URRUTY

Société du canal de Provence (SCP)

*En échos aux échanges de la table ronde « La France agricole face à la sécheresse : regards croisés de représentants d'institutions nationales, régionales et locales d'Occitanie », où la notion de résilience a été évoquée à plusieurs reprises, un acteur économique de la gestion de la ressource en eau dans la région Provence-Alpes-Côte d'Azur expose son point de vue en introduisant la notion d'irrigation de résilience.*

Depuis ses débuts, l'agriculture a entraîné la domestication d'une grande diversité d'espèces et de variétés animales et végétales. Cette diversité de productions et d'activités a permis aux sociétés agraires de mettre en place une gestion traditionnelle des risques basée sur le constat qu'il ne fallait pas « mettre tous ses œufs dans le même panier ». Néanmoins, au cours du XX<sup>e</sup> siècle, l'agriculture s'est radicalement modernisée en s'appuyant sur une homogénéisation et une standardisation des techniques de production. La maximisation du potentiel génétique d'un nombre limité de ressources animales et végétales a permis de réaliser de formidables gains de productivité et d'accompagner une population mondiale qui a été multipliée par près de quatre en cent ans.

Cette modernisation s'est principalement inscrite dans le « paradigme du contrôle ». Les techniques agricoles ont notamment cherché à lever les principaux facteurs limitants des productions : l'irrigation pour contrôler le stress hydrique, l'utilisation des produits phytosanitaires pour contrôler les bioagresseurs, l'application d'engrais pour contrôler la nutrition des cultures, etc. Les notions d'optimum, de simplicité et de court terme ont largement structuré ce paradigme.

Ce modèle agricole trouve toutefois ses limites aujourd'hui avec un contexte défavorable, en raison du renforcement des incertitudes climatiques, économiques et sociopolitiques, de la raréfaction des intrants (dont la ressource en eau) et de la stagnation des performances qui touchent les systèmes agricoles et qui ne permettent plus de justifier les importantes pollutions engendrées.

Ce constat doit nous aider à envisager un nouveau paradigme, dit de la « résilience » et qui repose sur quelques idées centrales :

- chercher à combiner différentes performances plutôt que maximiser une seule (viabilité plutôt qu'optimum) ;
- s'appuyer davantage sur les fonctionnalités offertes par les écosystèmes et accorder davantage d'importance aux interactions sol/eau/plante ;
- composer avec l'hétérogénéité des contextes sociotechniques pour envisager des solutions locales et adaptées à chaque territoire.

Appliqué à la question de l'eau, ce nouveau paradigme de la résilience conduit à envisager l'irrigation comme un facteur de contrôle des risques plutôt que de maximisation des rendements. L'eau devient un facteur de « régénération » des systèmes agricoles en permettant de mettre en place et de gérer des systèmes agroécologiques plus complexes et plus diversifiés grâce aux couverts végétaux, aux associations de cultures, à l'agroforesterie...

Toutefois, pour diffuser ce paradigme, il sera nécessaire de déployer d'importants efforts d'accompagnement des agriculteurs, des conseillers et des filières afin que la diversité des productions et des activités soient mieux valorisées qu'aujourd'hui. Les efforts de recherche appliquée devront également se poursuivre pour éclaircir certaines questions et sécuriser les transitions agricoles :

- Quelle influence ont les couverts, les mulchs ou les arbres positionnés dans les systèmes agricoles sur le bilan hydrique des cultures ?
- Quel degré de stress hydrique peut-on tolérer dans un contexte de multifonctionnalité de l'agriculture ?
- Comment faciliter la période de transition qui est souvent inconfortable en donnant des référentiels adaptés aux différents contextes agricoles ?
- Quels indicateurs sont les plus pertinents pour suivre et évaluer les performances de résilience ?

Autant de questions qui nécessiteront la collaboration de plus en plus étroite des instituts de recherche, des instituts techniques, des chambres d'agriculture, des gestionnaires d'irrigation pour accompagner les agriculteurs dans ce nouveau paradigme de la résilience.

## EN SAVOIR PLUS

Les enregistrements de la table ronde et l'intervention de Nicolas Urruty sont disponibles sur le site de la Chaire partenariale Eau Agriculture Changement climatique :

<https://chaire-eacc.fr/anticiper-pour-mieux-planifier-quelle-demande-en-eau-pour-quelle-agriculture-demain-colloque-le-28-septembre-2023-a-linstitut-agro-montpellier/>



# L'ÉVALUATION DES PRATIQUES D'IRRIGATION EN FRANCE

*Cette première partie aborde l'évolution récente de l'irrigation en France, le potentiel et les limites actuelles de son évaluation par télédétection et son efficacité à l'échelle de la parcelle.*

- 11 **Vers une augmentation structurelle de l'irrigation ? Enseignements du recensement agricole de 2020**  
*Alice SCOTTI, Sébastien LOUBIER*
- 21 **Contribution de la télédétection pour caractériser les zones irriguées et les prélèvements d'eau pour l'irrigation**  
*Dominique COURAULT, Gilles BELAUD, Valérie DEMAREZ, Nicolas BAGHDADI, Jean-Stéphane BAILLY*
- 31 **Efficacité de l'irrigation à la parcelle. Quelles marges de manoeuvre pour des économies d'eau ?**  
*Claire WITTLING*





## Vers une augmentation structurelle de l'irrigation ? Enseignements du recensement agricole de 2020

Alice SCOTTI<sup>1</sup>, Sébastien LOUBIER<sup>1</sup>

<sup>1</sup> G-EAU, INRAE, AgroParisTech, Cirad, IRD, Montpellier SupAgro, Univ Montpellier, BP 5095, 34196 Montpellier Cedex 5, France.

Correspondance : Alice SCOTTI, [alice.scotti@inrae.fr](mailto:alice.scotti@inrae.fr)

*Le recensement agricole permet de connaître les grandes tendances de l'irrigation à échéances régulières, notamment en ce qui concerne les équipements mobilisés et les surfaces et les cultures irriguées. L'analyse de ces données constitue une source complémentaire de connaissances sur l'irrigation en France métropolitaine, à différentes échelles administratives et hydrographiques.*

### Introduction

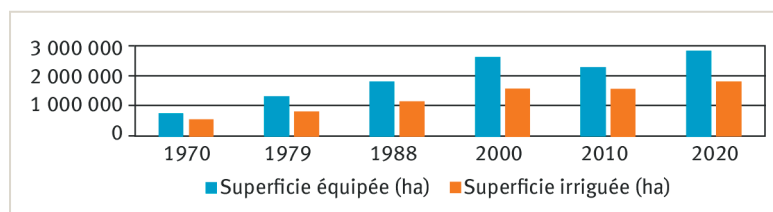
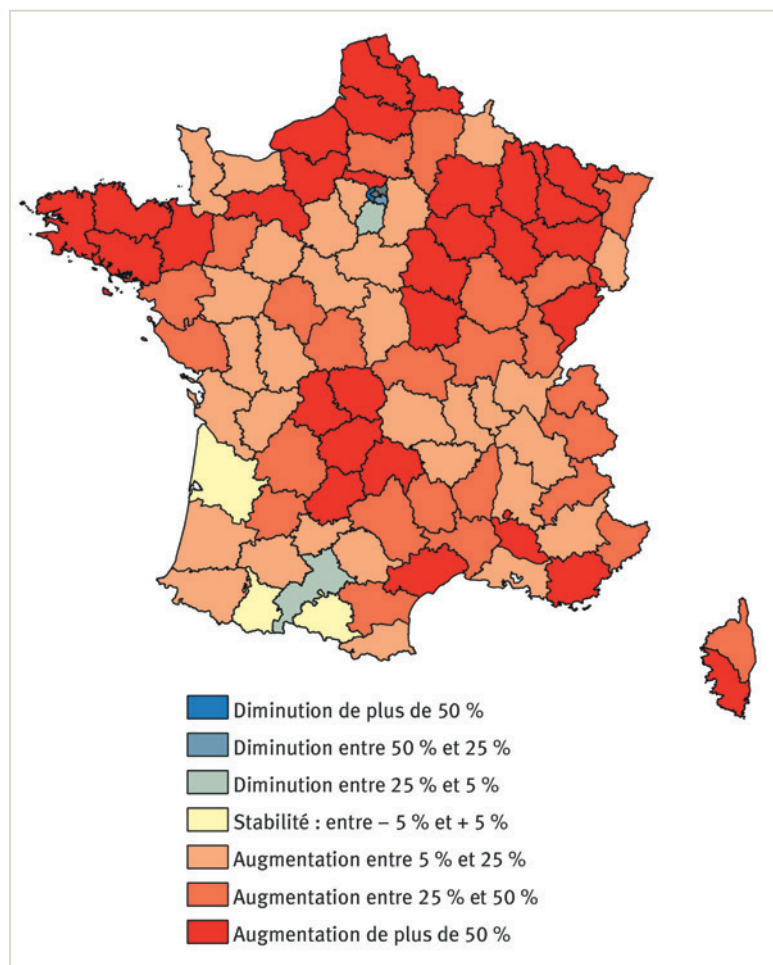
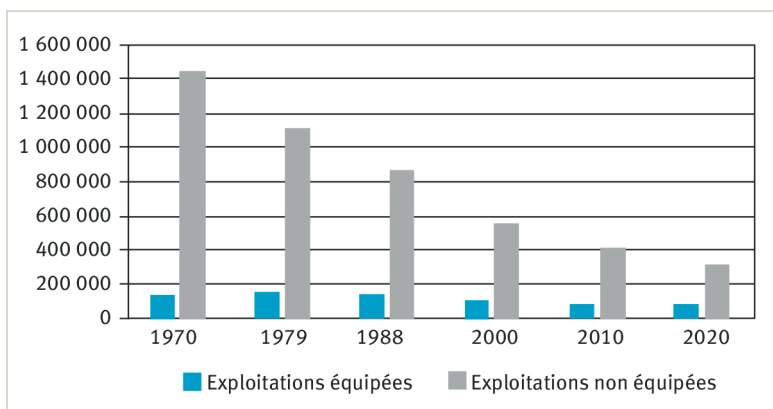
Les données du recensement agricole sont un moyen de mesurer les évolutions de l'irrigation à différentes échelles spatiales et temporelles. Le recensement agricole est opéré toutes les décennies : 1955, 1970, 1979, 1988, 2000, 2010, 2020 par le service statistique du ministère en charge de l'agriculture. Réaliser son état des lieux permet de connaître les grandes tendances de l'irrigation (équipements, surfaces, cultures) à échéances régulières.

Les données mobilisées sont les variables du module « irrigation » du questionnaire du recensement agricole :

- les surfaces irriguées et exploitations concernées pour chaque type de culture irriguées ;
- les surfaces équipées (ou irrigables) et les exploitations concernées pour chaque type de culture ;
- l'origine de la ressource en eau (superficielle, forage, retenue) et le mode d'accès à la ressource (individuel, collectif, mixte) ;
- les techniques d'irrigation utilisées (aspersion, micro-irrigation, gravitaire).

Il est important de prendre en compte l'année climatique au cours de laquelle la campagne agricole a été opérée. En particulier, les conditions climatiques printanières influent sur les indicateurs conjoncturels (surfaces irriguées et exploitations concernées). Nous avons mis

en relation le bilan hydrique (février à avril) constaté en 2010 et 2020 et la mise en irrigation des céréales à paille sur ces deux années. Ces cultures ne sont pas systématiquement irriguées : les agriculteurs prennent la décision de la mise en irrigation de ces cultures en fonction des conditions météorologiques, en particulier de la recharge hivernale. Les superficies équipées et exploitations concernées, le mode d'accès à l'eau, les origines de la ressource en eau et les techniques d'irrigation sont des variables moins influencées par la conjoncture économique et la situation climatique de l'année en cours. L'intérêt de l'analyse des données du recensement agricole est accentué par l'inexistence d'une base de données qui collecterait annuellement les superficies irriguées sur l'ensemble du territoire français. Les enquêtes sur les structures des exploitations agricoles sont réalisées tous les trois ans sur les périodes intercensitaires, mais elles reposent sur des échantillons, contrairement au recensement agricole qui permet une vision exhaustive. Le caractère irrigué des cultures n'est plus collecté lors des déclarations de la Politique agricole commune (PAC) des agriculteurs. Par conséquent, le registre parcellaire graphique permettant une localisation précise des surfaces ne contient plus cette information. De la même façon, l'information sur les volumes d'eau consommés n'a pas été collectée dans le cadre de recensement agricole 2020, contrairement à celui de 2010.

**Figure ❶** – Évolution des superficies équipées et irriguées entre 1970 et 2020 en France.**Figure ❷** – Évolution des superficies équipées entre 2010 et 2020 par département.**Figure ❸** – Évolution des exploitations équipées et non équipées entre 1970 et 2020 en France.

Nous dressons un état des lieux de l'évolution récente de l'irrigation à travers la présentation des résultats du recensement agricole 2020. Les résultats tendent vers une dynamique structurelle à la hausse de l'irrigation. Nous analysons cette dynamique au regard des cultures irriguées, des modes d'accès à la ressource en eau et de l'origine de la ressource, et des techniques d'irrigation.

Les données sont présentées à différentes échelles administratives (France métropolitaine, régions, anciennes régions – avant 2016, départements) et hydrographiques (bassins d'agence, régions hydrographiques, secteurs hydrographiques). Le rapport contient également des analyses temporelles à partir des données des recensements agricoles précédents.

### Panorama de l'irrigation

La surface agricole irriguée en 2020 est de 1,8 millions d'hectares. Si l'analyse du recensement agricole de 2010 mettait en évidence une stagnation de la surface irriguée, celle de 2020 montre une reprise de l'augmentation de la surface irriguée (+ 15%) par rapport à 2010. La surface irriguée en France métropolitaine représente 6,8% de la surface agricole utile (SAU) nationale. Les surfaces équipées (surface pouvant être atteinte par du matériel d'irrigation à disposition dans l'exploitation ou étant équipée pour l'irrigation) représentent 2,8 millions d'hectares, soit 11% de la SAU hexagonale. La diminution des surfaces équipées observée entre 2000 et 2010 ne se poursuit pas sur la période 2010-2020. Au contraire, les surfaces équipées sont à la hausse (+23%, figure ❶). L'augmentation des surfaces irriguées et équipées se constate dans la majorité des départements (figure ❷).

Nous comptons plus de 81 300 exploitations équipées lors de la campagne 2019-2020, soit 21% des exploitations. L'analyse met en évidence que, pour la première fois depuis 1970, le nombre d'exploitations équipées ne diminue pas (+ 1%) entre 2010 et 2020 (figure ❸). Ce résultat montre les différences de dynamiques entre exploitations équipées pour l'irrigation ou non, car le nombre d'exploitations non équipées a diminué de 23% sur la même période. Plus de 71 000 exploitations ont irrigué au cours de la campagne 2019-2020, soit 18% des exploitations. Le nombre d'exploitations irrigantes a également diminué, dans une moindre mesure (- 3%) sur la décennie. Également, notons que 13% des exploitations équipées pour l'irrigation n'ont pas irrigué au cours de la campagne agricole (une surface équivalente à 8% des surfaces équipées). Elles n'étaient que 9% des exploitations en 2010. Ce phénomène interroge sur la stratégie des exploitations qui investissent dans un équipement sans pour autant être sûres de l'utiliser. Serions-nous face à un phénomène de spéculation ?

La disparition d'un certain nombre d'exploitations, en particulier des exploitations non équipées, se traduit par l'augmentation de la taille moyenne des exploitations entre 2010 et 2020 : une hausse de la surface moyenne des exploitations équipées de 16%, ce qui est moins marqué pour les exploitations non irrigantes (+ 23%). À l'échelle nationale, la surface moyenne des exploitations irriguées (77 hectares) est supérieure à celle des exploitations non irriguées (67 hectares). Ce résultat peut sembler contre-intuitif car la mise en place de l'irrigation

sur une exploitation nécessite de la main d'œuvre, or ce facteur humain peut limiter la surface des exploitations des irrigants. Cependant, ce résultat gomme les disparités locales pouvant exister. En outre, cette tendance diffère en fonction des cultures considérées : elle se vérifie pour les grandes cultures et la vigne, mais pas pour l'arboriculture, notamment les cultures de fruits à noyaux (tableau 1).

Il existe une forte hétérogénéité spatiale de l'irrigation liée à des facteurs historiques (présence des grandes sociétés d'aménagement et anciens périmètres irrigués par gravité), topographiques (plaines alluviales, grandes nappes aquifères) et pédoclimatiques. En 2020, la part de la SAU irriguée connaît une tendance à la hausse dans la majorité des départements, en particulier pour ceux de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur (PACA) et du pourtour méditerranéen. Également, la hausse des surfaces équipées et irriguées constatée est visible dans les territoires peu concernés par l'irrigation : la Bretagne, le Nord, l'Alsace-Lorraine. Le développement d'ouvrages de stockage et de transport pose la question d'une éventuelle substitution des prélèvements antérieurs en eaux de surfaces ou eaux souterraines dans certains territoires où le changement climatique ne permet plus ce type de pratiques.

### L'évolution de l'irrigation par région et par grand bassin hydrographique

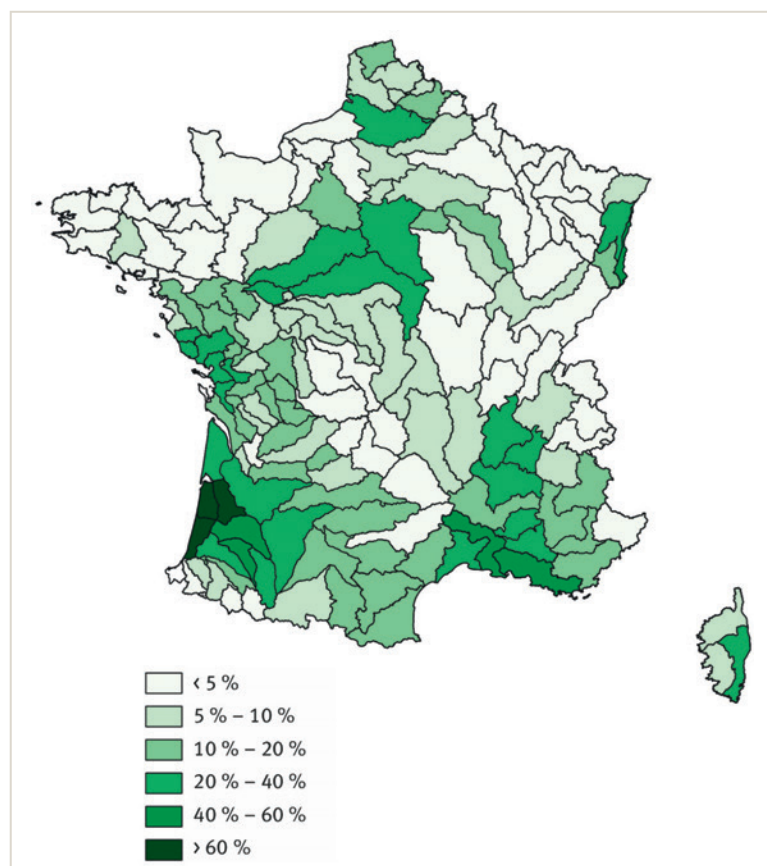
La répartition spatiale hétérogène de l'irrigation est perceptible à travers sa répartition régionale. Sur l'ensemble des treize régions, huit régions totalisent 94 % des superficies irriguées et 91 % des exploitations ayant irrigué en 2020. Les trois régions comptabilisant les plus grandes superficies irriguées sont la Nouvelle-Aquitaine, le Centre-Val de Loire et l'Occitanie. Concernant le nombre d'exploitations équipées, la région PACA rejoint l'Occitanie et la Nouvelle-Aquitaine dans le trio de tête. Les superficies irriguées par exploitations équipées sont disparates : 93 hectares en moyenne pour la région Centre-Val de Loire et 18,5 hectares pour la Bretagne. Les différences régionales sont dues aux types de cultures pratiquées et à leur niveau de valeur ajoutée : le seuil de rentabilité des exploitations arboricoles au sud est plus bas que pour les exploitations de grandes cultures au nord.

Les bassins de Loire-Bretagne, de l'Adour-Garonne et de Rhône Méditerranée concentrent 82 % de la surface irriguée et 76 % des surfaces équipées. Notre analyse montre une augmentation des superficies équipées en Loire-Bretagne (+ 22 %), bassin qui regroupe la plus grande surface équipée (889 835 hectares). On note un fort développement de l'irrigation sur le bassin Artois-Picardie avec une hausse de 78 % des surfaces équipées et de 35 % d'exploitations équipées sur la décennie. Les bassins de l'Adour-Garonne (10,6%) et de Rhône-Méditerranée-Corse (9,3 %) ont un taux de surface irriguée supérieur à la moyenne nationale (6,8 %). L'échelle des secteurs hydrographiques fait ressortir des territoires d'irrigation « hors-normes ». Les territoires les plus irrigués se situent dans la région des fleuves côtiers, dans le bassin de l'Adour-Garonne. Sur le secteur de la Leyre, fleuve côtier des Landes Gascogne, et des côtiers de l'embouchure de la Leyre, 9 hectares sur 10 hectares sont équipés pour l'irrigation et ont été irrigués en 2020 (figure 4).

Tableau 1 – Superficies moyennes par exploitation par type de culture en 2020 en France.

	Maïs grain et semence	Maïs fourrage	Blé tendre	Vignes à cuve	Fruits à noyau
SAU moyenne par exploitation ayant irrigué en 2020 (ha)	124	142	412	34	33
SAU moyenne par exploitation n'ayant pas irrigué en 2020 (ha)	102	122	119	26	39

Figure 4 – Part des surfaces équipées par secteur hydrographique en 2020 (%).



### Une évolution structurelle de l'irrigation à la hausse

L'augmentation des superficies irriguées entre 2010 et 2020 se traduit de manière différenciée selon les cultures (figure 5). Si le maïs grain et semence reste la principale culture irriguée, ce statut s'affaiblit : elle représentait 49 % des surfaces irriguées en 2000, 41 % en 2010 et 33 % en 2020. Les surfaces irriguées de la culture de maïs grain et semence diminuent continuellement depuis 2000 (-17 % entre 2000 et 2020), et ce, malgré une hausse des surfaces cultivées en maïs (+ 8 % entre 2010 et 2020) (figure 6). Le taux d'irrigation de la culture est en baisse (40 % en 2010, 34 % en 2020). Les surfaces des non-irrigants de maïs ont augmenté de 35 % sur cette même période, ce qui témoigne d'une demande en maïs tou-

Figure 5 – Répartition des surfaces irriguées des principaux groupes de cultures.

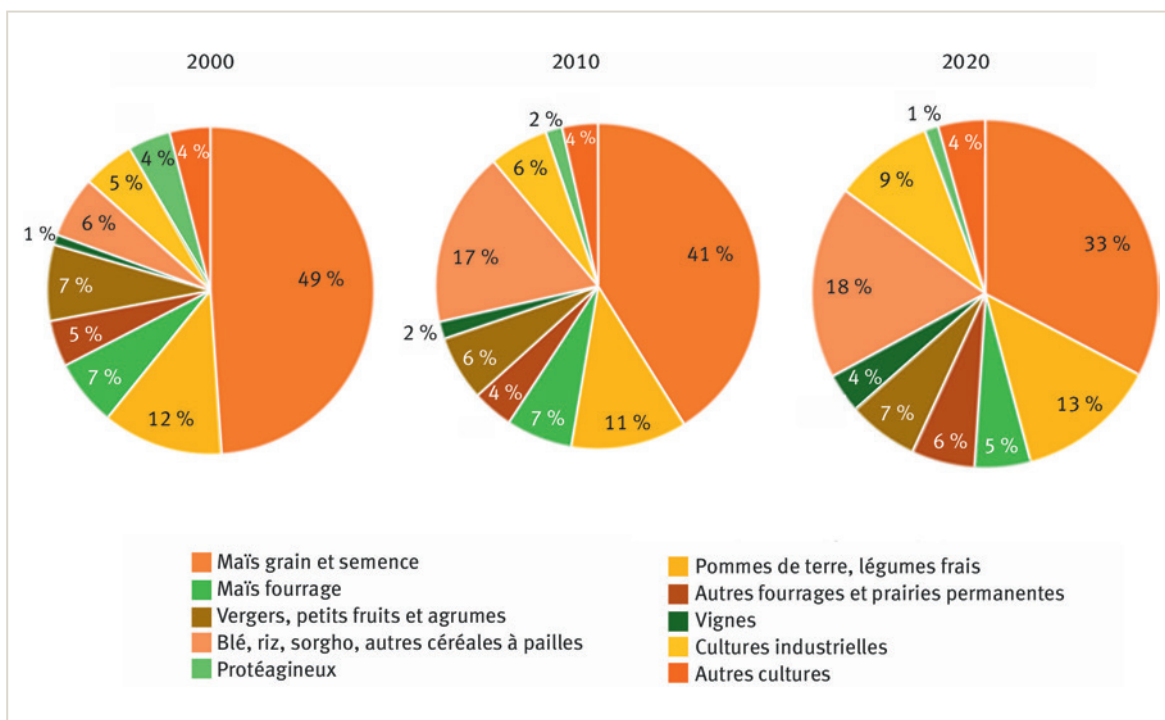
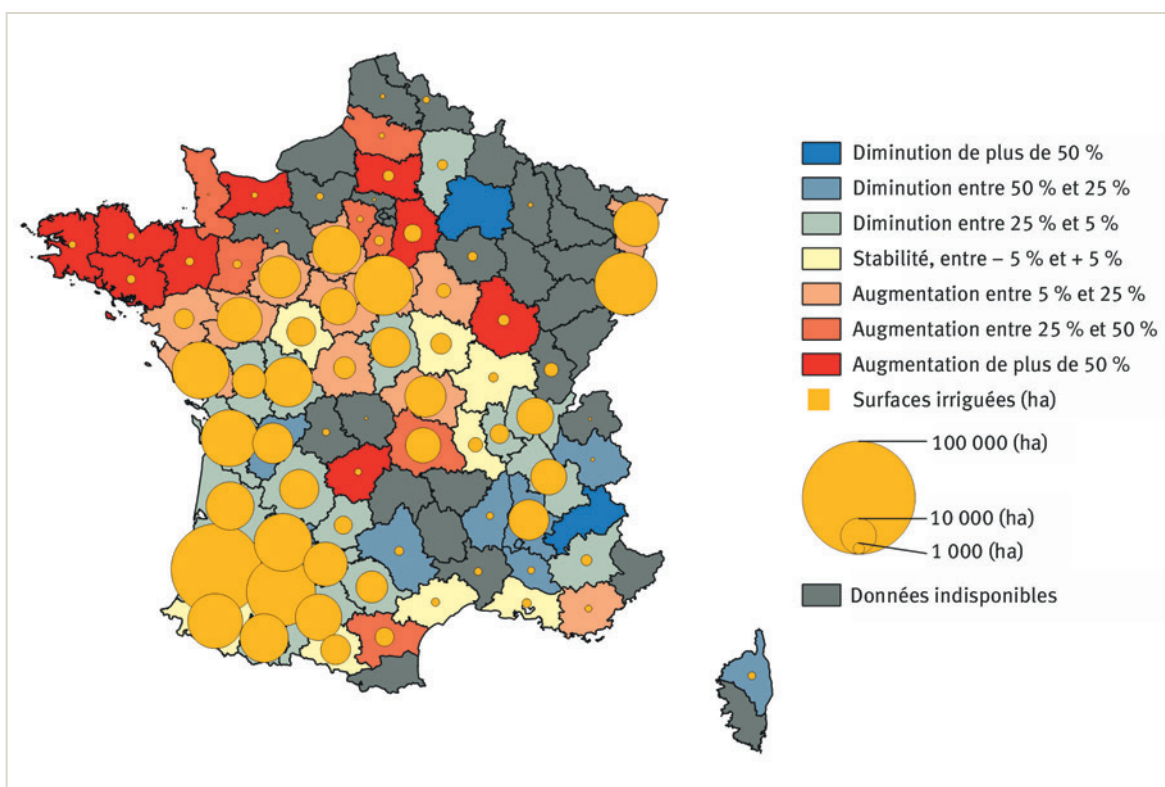


Figure 6 – Variation de la superficie irriguée de maïs grain et semence entre 2010 et 2020 par département.



jours présente. Les politiques locales de gestion de l'eau (en particulier les arrêtés sécheresse) et les incitations à la diversification des cultures via la PAC pourraient être des pistes d'explication. Notons aussi une augmentation des surfaces irriguées de maïs en Bretagne, vers le Centre-Val de Loire et le Grand Est, territoires auparavant peu concernés par ce type d'irrigation.

La réduction des surfaces irriguées entre 2010 et 2020 concernent aussi les cultures de protéagineux (- 17 %) et de maïs fourrage (- 9 %). La diminution des surfaces irriguées en maïs fourrage – qui représentent 5 % des surfaces irriguées totales – se situe dans le quart sud-ouest de la France. La réduction des surfaces des cultures de protéagineux intervient dans la région Centre Val-de-Loire et en Normandie. Les surfaces irriguées des protéagineux représentaient 5 % en 2020 (7 % des surfaces en 2010).

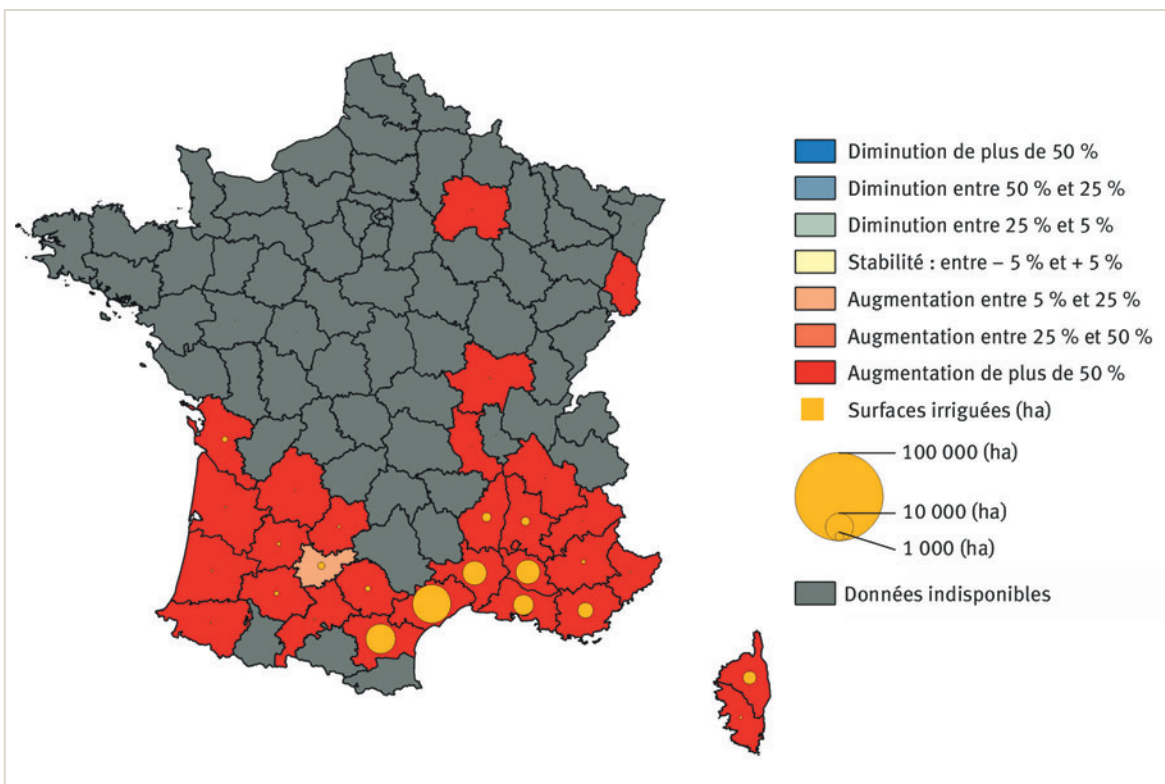
Ainsi, en dix ans, la perte de surface irriguée en maïs – et protéagineux plus marginalement, a été plus que compensée par la hausse des surfaces irriguées de soja<sup>1</sup> (+181 % soit 45 765 ha), de légumes frais, fraises et melons (+27 % soit 31 903 ha), de pommes de terre (+37 % soit 23 247ha) ou encore de betteraves (+23 % soit 6 331ha). La hausse de 20% (32 724 ha) de surfaces irriguées en fourrages, prairies et surfaces toujours en herbe met en évidence des stratégies de sécurisation du fourrage dans des zones d'élevage encore peu irriguées. Enfin, l'irrigation de la vigne à cuve connaît un essor sans précédent sur la décennie (figure 7), avec une augmentation de 160% (39 943 ha) et un taux d'irrigation global qui triple quasiment pour atteindre 8,3 % de la surface

totale en vigne à cuve qui est irriguée. En 2020, 11 % des exploitations viticoles irriguent 9 % des surfaces en vignes, alors qu'elles n'étaient que 5 % des exploitations irriguant 3 % des surfaces en 2010. Ce développement se localise dans le Sud de la France. Le Bassin Rhône-Méditerranée-Corse regroupe 91 % des exploitations irrigant la vigne et 96 % des surfaces en vignes irriguées.

Le recours à l'irrigation de certaines cultures est dépendant de facteurs conjoncturels. L'irrigation de certaines céréales à pailles – du blé tendre en particulier – est liée aux conditions climatiques printanières et influence le ratio entre surfaces irriguées et surfaces équipées qui varie d'une année à l'autre, donc d'un recensement agricole à l'autre. L'irrigation, qui joue un rôle de complément aux apports pluviométriques à ces cultures pouvant être pratiquées en pluvial, n'est pas systématique. La surface irriguée des céréales à paille (hors maïs) a augmenté de 18 % entre 2010 et 2020 et avait déjà presque doublé entre les recensements de 2000 et 2010. Le printemps 2010 ayant été particulièrement sec sur une grande partie de la France (figure 6), les exploitations qui étaient équipées pour l'irrigation ont irrigué les céréales (le blé principalement), ce qui explique le doublement de surface irriguée entre 2000 et 2010. Par contre, bien que le printemps 2020 ait été relativement moins sec qu'en 2010 (au moins dans les zones équipées pour l'irrigation), on observe un recours accru à l'irrigation. En d'autres termes, non seulement la hausse globale de l'irrigation en France est structurelle mais en plus, les irrigations printanières sur les céréales semblent également être structurelles c'est-à-dire relativement indépendantes des conditions climatiques.

1. Le soja est classé dans la catégorie « cultures industrielles » dans la figure 6.

Figure 7 – Variation de la superficie irriguée de la vigne entre 2010 et 2020 par département.



De ce fait, il est intéressant d'observer les différences de bilan hydrique (calculés pour la période de février à avril à partir des données météo SAFRAN) entre 2010 et 2020 (figure 8 et figure 9). En 2010, les départements avec le plus grand nombre d'hectares irrigués se situent autour du Bassin parisien, des régions Centre-Val de Loire, Pays de la Loire et le Nord de la Région Nouvelle Aquitaine.

Cela correspond aux déficits hydriques observés sur la moitié Ouest du pays. En 2020, les déficits hydriques sont localisés dans la Région PACA – en particulier les Alpes Maritimes, le Var et les Bouches-du-Rhône, ainsi que tout le long du bassin du Rhône. Si les superficies irriguées ne se distinguent pas dans cette zone, nous pouvons constater que la part de la surface équipée qui

Figure 8 – Bilan hydrique médian cumulé entre février et avril 2010 par secteur hydrographique en France.

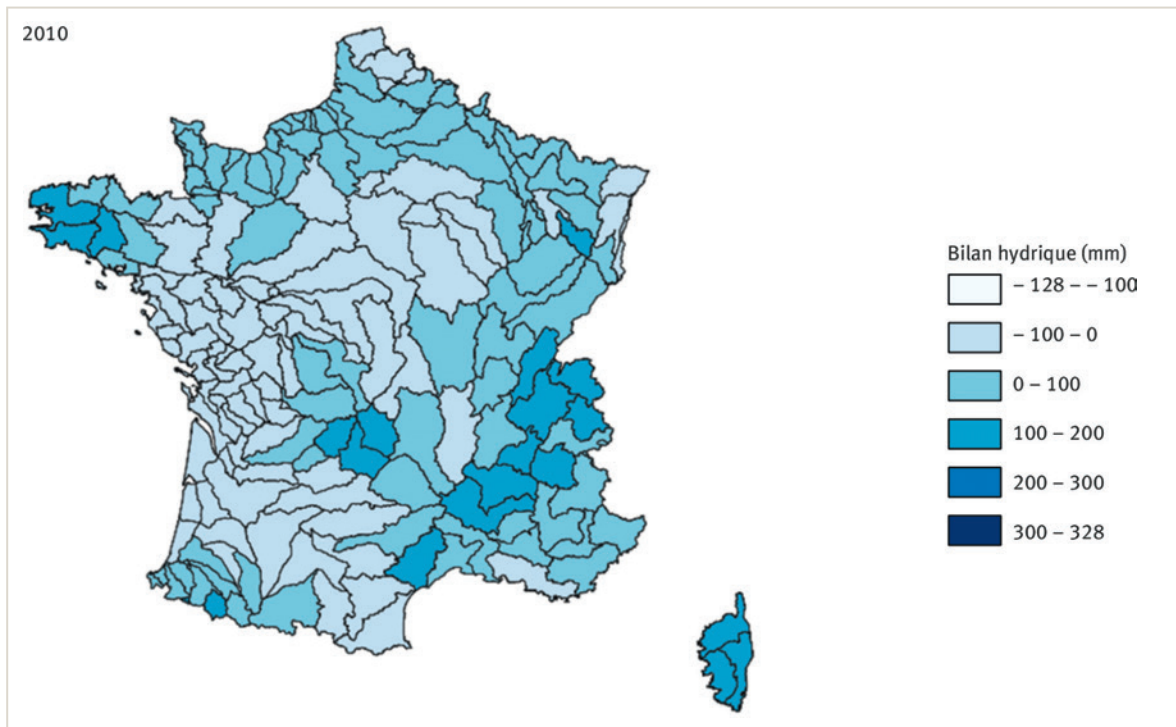
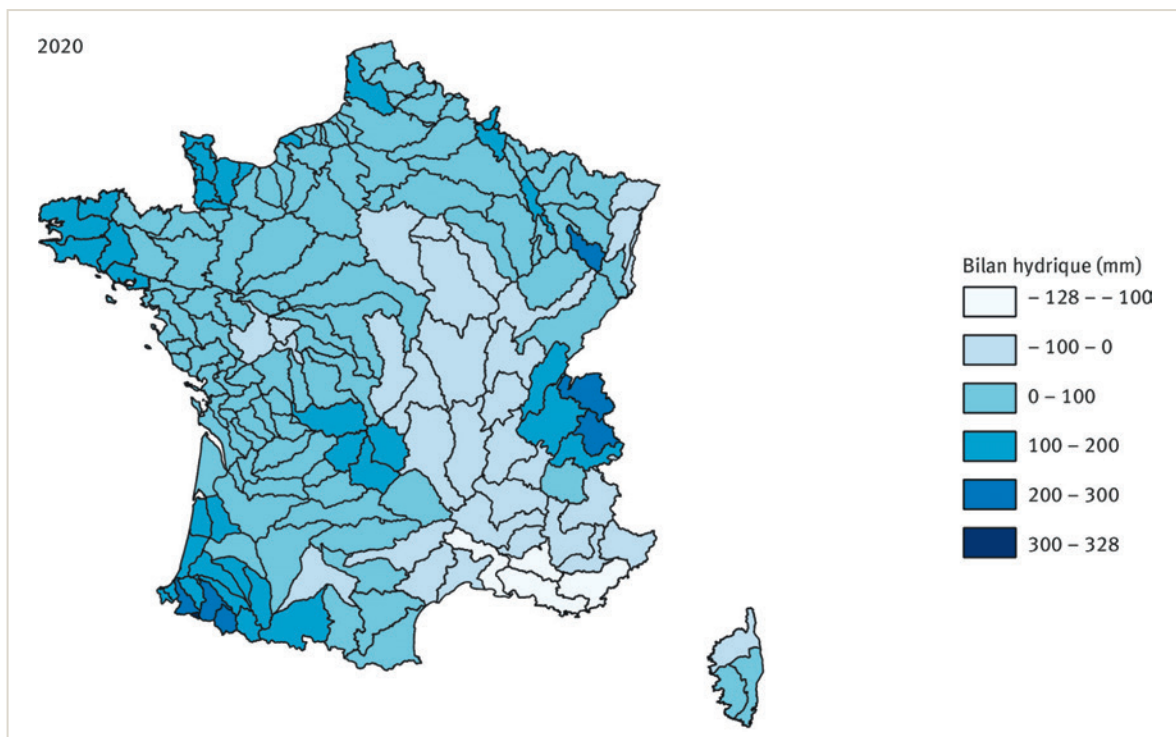


Figure 9 – Bilan hydrique médian cumulé entre février et avril 2020 par secteur hydrographique en France.



a été irriguée est forte dans la région PACA et dans le Sud de la région Auvergne-Rhône Alpes. Cette tendance se constate également pour les départements de l'ancienne région Aquitaine. Observer l'évolution des surfaces irriguées sans l'influence de l'irrigation conjoncturelle des céréales de printemps permet de confirmer que la hausse de l'irrigation s'inscrit dans une tendance structurelle.

**La hausse des surfaces équipées est permise par l'accroissement des modes d'accès à l'eau collectifs et individuels**

Le recensement agricole permet de connaître le mode d'accès à l'eau des irrigants. La répartition des modes est influencée par des critères pédoclimatiques. En effet, les exploitants ont eu tendance à développer des systèmes d'accès collectif à la ressource en eau dans les contextes où le développement d'infrastructures individuelles était complexe et onéreux. Les systèmes collectifs se retrouvent davantage dans la moitié sud de la France, alors que les accès individuels se retrouvent dans la moitié nord de la France et dans le Sud-Ouest (figure 10). Dans certaines zones, comme le Sud-Ouest, se trouvent des exploitations dites mixtes, qui combinent accès individuel et collectif à la ressource. La hausse des surfaces équipées est permise par l'accroissement des modes d'accès à l'eau collectifs et individuels. L'accès individuel exclusif à la ressource en eau est la modalité la plus courante (63 % des surfaces équipées), il s'agit de la modalité qui a le plus augmenté depuis 2000 (+ 20 % des surfaces équipées). L'accès collectif exclusif concerne 22 % des surfaces équipées en 2020, soit une augmentation de 12 % depuis 2000. Inversement, les surfaces équipées concernées par un accès mixte à la ressource en eau accusent une légère baisse depuis 2000 (- 5 %). Pour les exploitations en accès mixte, la part des surfaces équipées en réseau collectif et celles des surfaces équipées avec accès individuel n'est pas connue. Nous pouvons estimer qu'entre 22 % et 37 % des surfaces équipées sont en accès collectif (exclusif et mixte) et qu'entre 63 % et 78 % des surfaces équipées sont en accès individuel (exclusif et mixte). Nous comparons nos données sur l'accès à la ressource avec le recensement agricole de 2000. Effectivement, il a été démontré qu'un biais dans le guide d'entretien des enquêteurs du recensement agricole en 2010 a conduit à surestimer les surfaces en irrigation individuelle et sous-estimer les surfaces en accès collectif (Loubier et Campardon, 2015).

Le recensement agricole permet de connaître l'origine de la ressource en eau utilisée (forage, retenue collinaire, eaux de surfaces, autres, combinaisons des différentes origines) pour les exploitations qui ont un accès individuel à la ressource. En 2020, huit exploitations sur dix ont recouru à un seul type de ressources (tableau 2) : 44 % aux forages, 20 % aux eaux de surfaces, et 16 % aux retenues. En 2020, environ 12 800 exploitations équipées ont au moins une retenue individuelle (exclusivement ou en combinaison avec d'autre type d'accès), soit 25 % des exploitations ayant un accès individuel ou mixte. Nous en dénombrions 15 800 en 2010, et ceci alors que la surface équipée de ces exploitations (450 000 hectares) est restée stable entre les deux décennies. Ceci signifie que de nombreuses exploitations (après agrandissement)

possèdent plusieurs retenues indépendamment du fait qu'entre 2010 et 2020, de nouvelles retenues individuelles ont très certainement été créées.

On distingue dans le recensement agricole trois modes d'irrigation : aspersion, gravité et micro-irrigation. Comme pour l'origine de l'eau, des exploitations peuvent avoir plusieurs modes d'irrigation. Les principales caractéristiques relatives au mode d'irrigation sont retranscrites dans le tableau 3 et la figure 11.

L'irrigation par aspersion (exclusivement) est pratiquée par 51 % des irrigants et couvre 77 % des surfaces irri-

Figure 10 – Répartition des surfaces irriguées par département en 2020 (ha).

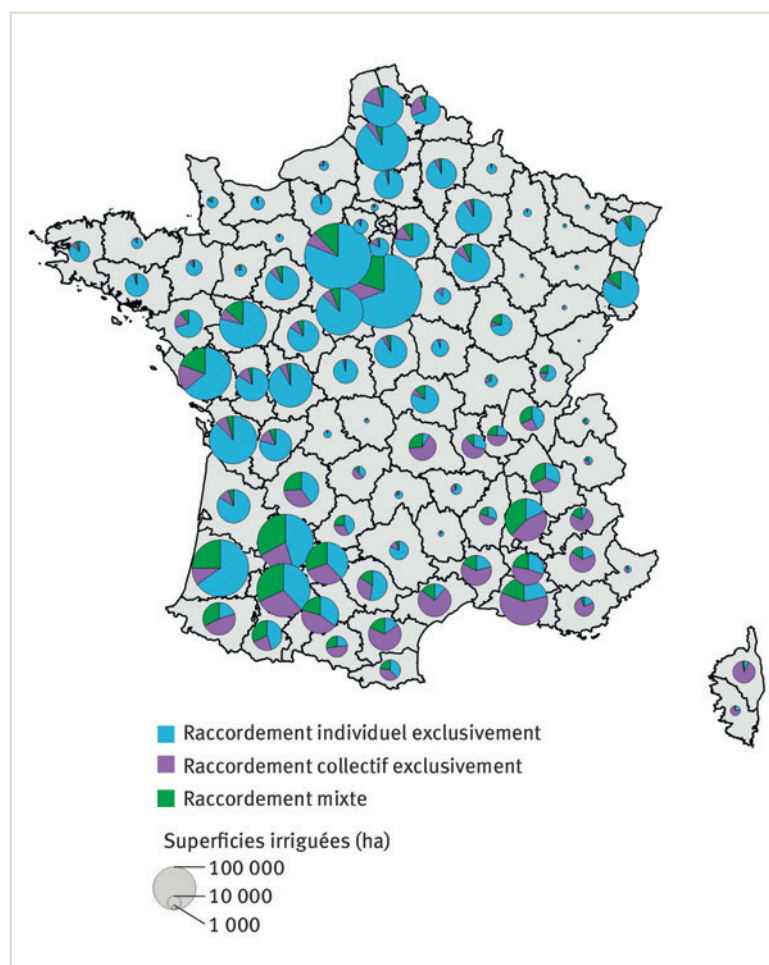


Tableau 2 – Répartition de l'origine de l'eau des exploitations équipées avec un accès individuel ou mixte à la ressource en 2020.

Origine de l'eau	Exploitations équipées avec accès mixte et individuel	Proportion des exploitations équipées avec accès mixte et individuel
Forage exclusivement	22 834	44 %
Surface exclusivement	10 621	20 %
Retenue exclusivement	8 295	16 %
Autres origines et origines multiples	10 206	20 %

guées. C'est le mode d'irrigation le plus répandu, avec une superficie moyenne équipée de 56,5 hectares par exploitation.

La micro-irrigation (exclusivement) concerne 25 % des irrigants et seulement 7 % des surfaces. Principalement utilisée pour les vergers et les fruits, elle est surtout présente dans le Sud de la France et autour de la Méditerranée. La superficie moyenne équipée est de 8,4 hectares par exploitation.

L'irrigation gravitaire (exclusivement), largement présente en région PACA et anciennement Languedoc-Roussillon, est pratiquée par seulement 4 % des exploitations sur 4 % des surfaces irriguées. La superficie moyenne équipée est de 29,7 hectares par exploitation. L'irrigation gravitaire avec un accès individuel à la ressource demeure rare mais représente 10 % de la surface équipée en réseau collectif.

**Conclusion**

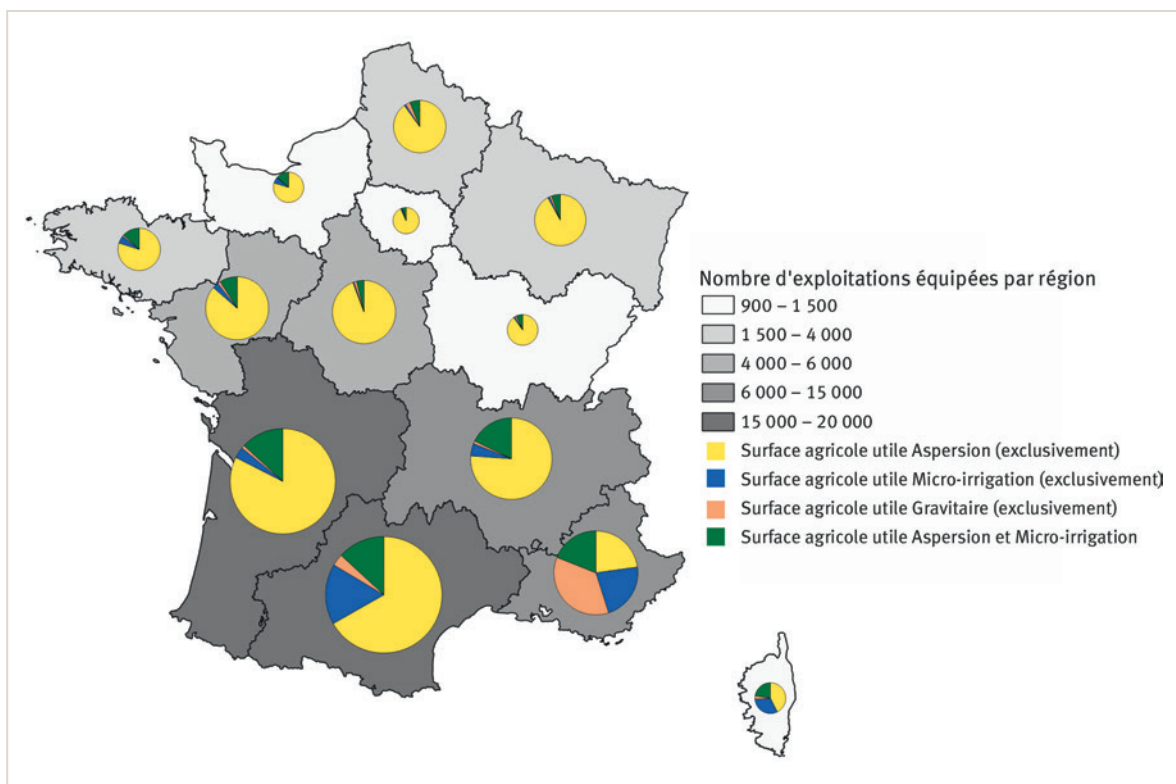
L'année 2020 marque la reprise de la croissance structurelle de l'irrigation sur le territoire métropolitain. Cette dynamique est perceptible sur plusieurs indicateurs : la surface irriguée (+ 15 %), mais surtout la surface équipée (+ 23 %), variable moins dépendante de la conjoncture climatique.

Témoin de cette dynamique structurelle, pour la première fois depuis 1970, le nombre d'exploitations équipées ne diminue pas sur la décennie tandis que le nombre d'exploitations non équipées a diminué de 23 % sur la même période. L'accès à l'irrigation est donc un facteur important de la pérennité (rentabilité, transmission ou agrandissement) d'une exploitation agricole.

**Tableau 3** – Répartition des modes d'irrigation par exploitation et par superficie en 2020 en France.

Mode d'irrigation	Exploitations irriguées	Part des exploitations irriguées	Surfaces irriguées	Part des superficies irriguées	Superficies irriguées moyennes par exploitation irriguée
Aspersion (exclusivement)	36 559	51%	1 388 073	77 %	56,5
Micro-irrigation (exclusivement)	17 552	25 %	124 278	7 %	8,4
Gravité (exclusivement)	2 961	4 %	64 763	4 %	29,7
Autres (modes combinés) principalement représenté par la combinaison micro-irrigation + aspersion	13 997	20 %	231 721	13 %	22,7
Total	71 069	100 %	1 808 835	100 %	–

**Figure 11** – Répartition des 4 modes d'irrigation principaux par nombre d'exploitation et par région en 2020.



En revanche, les résultats convergent vers une diminution structurelle de l'irrigation du maïs, malgré une demande soutenue puisque la surface en maïs non irrigué a fortement augmenté et vers une hausse structurelle de l'irrigation des céréales à paille.

L'irrigation se maintient voire se développe dans des régions déjà fortement équipées pour l'irrigation. C'est le cas, par exemple, de la vigne – rarement irriguée auparavant – en particulier autour du bassin méditerranéen. Cette évolution de l'irrigation de la vigne va de pair avec un développement important de la micro-irrigation autour du littoral méditerranéen. Et elle pose la question de l'allocation de la ressource en eau dans un contexte méditerranéen en proie à des contraintes sur la disponibilité de la ressource en eau accentuée par le changement climatique.

L'irrigation se développe également dans des zones encore peu irriguées telles que la Bretagne, la Normandie, les Hauts-de-France, le Grand-Est, la Bourgogne-Franche-Comté et le Massif Central. Ce développement, dans des territoires encore peu concernés par de forts déséquilibres quantitatifs, pose question quant à leur capacité future à s'adapter au changement climatique (baisse de la disponibilité et hausse de la demande en eau des cultures) et à éviter des situations de déséquilibres structurels comme ceux observés aujourd'hui sur certains bassins d'Adour-Garonne et Loire-Bretagne. ■

## REMERCIEMENTS

Ces travaux ont été réalisés grâce au soutien financier du ministère chargé de l'agriculture (SCPE – Service compétitivité et performance environnementale/SDPE – Sous-direction de la performance environnementale /BESEC – Bureau de l'eau, des sols et de l'économie circulaire/DGPE – Direction générale de la performance économique et environnementale des entreprises).

Nous remercions Gérôme Pignard, chef de service Agreste Occitanie, pour son implication dans la mise à disposition des données du recensement agricole 2020 sur l'irrigation.

## RÉFÉRENCES

GLEYESSES, G., & RIEU, T. (2004). *L'irrigation en France : état des lieux 2000 et évolutions*, Cemagref Éditions, Antony, 60 p.

LOUBIER, S., CAMPARDON, M. & MORARDET, S. (2013). L'irrigation diminue-t-elle en France ? Premiers enseignements du recensement agricole de 2010. *Sciences Eaux & Territoires*, (11), 12-19. <https://doi.org/10.14758/SET-REVUE.2013.11.04>

LOUBIER, S., & CAMPARDON, M. (2015). *Les déterminants de l'évolution de l'irrigation collective*. Rapport final – Convention 2012/2013 MASA-BSE/IRSTEA, 32 p.





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.

## Contribution de la télédétection pour caractériser les zones irriguées et les prélèvements d'eau pour l'irrigation

Dominique Courault<sup>1</sup>, Gilles Belaud<sup>2</sup>, Valérie Demarez<sup>3</sup>, Nicolas Baghdadi<sup>4</sup>, Jean-Stéphane BAILLY<sup>5</sup>

<sup>1</sup> UMR EMMAH, INRAE-Avignon Université, 84914 Avignon, France.

<sup>2</sup> G-EAU, INRAE, AgroParisTech, Cirad, IRD, Montpellier SupAgro, Univ Montpellier, 34196 Montpellier Cedex 5, France.

<sup>3</sup> CESBIO, 31401 Toulouse Cedex 9, France.

<sup>4</sup> UMR TETIS, AgroParisTech, CIRAD, CNRS, INRAE, 34196 Montpellier Cedex 5, France.

<sup>5</sup> UMR LISAH, Univ. Montpellier, AgroParisTech, INRAE, Institut Agro, IRD, 34060 Montpellier Cedex 5, France.

Correspondance : Dominique COURAULT, [dominique.courault@inrae.fr](mailto:dominique.courault@inrae.fr)

*L'agriculture, en tant que principal consommateur d'eau, est particulièrement vulnérable à la diminution des ressources hydriques, notamment en période de forte évapotranspiration. Cet article présente les apports de la télédétection à la caractérisation des usages de l'eau par l'agriculture. Les opportunités offertes par les nouvelles missions d'observation et les méthodes de calcul sont introduites et discutées.*

Les changements globaux impactent directement les ressources en eau et leurs usages, au premier plan l'agriculture qui est une des activités les plus consommatrice d'eau et qui génère la majeure partie des volumes évaporés vers l'atmosphère. Parmi les leviers d'adaptation de l'agriculture, l'irrigation permet de compenser le déficit hydrique, mais elle se heurte à la disponibilité réduite de la ressource lors des périodes de forte évapotranspiration, engendrant d'ores-et-déjà des conflits d'usages qui risquent de s'aggraver avec les sécheresses à venir (réduction des débits de 30 % en moyenne d'ici 2050, résultats de projet Explore 2<sup>1</sup>).

Face à cette situation critique, nous avons besoin de mieux comprendre les consommations et les besoins en eau des cultures, qu'elles soient irriguées ou non. En complément de réseaux d'observations ponctuelles au sol, fournissant des données plus ou moins facilement accessibles, la télédétection offre une couverture spatiale des surfaces sur l'ensemble du globe, avec une répétition dans le temps de plus en plus élevée. Diverses informations peuvent être dérivées des images satellitaires, comme des cartes d'occupation des sols, d'humidité par exemple, qui sont de plus en plus accessibles via des plateformes ouvertes au grand public. Est-ce une opportunité pour mieux évaluer les usages de l'eau par l'agriculture et gérer les crises ?

### La télédétection, un outil opérationnel pour le suivi des surfaces agricoles

La télédétection fournit depuis plus d'une cinquantaine d'années des informations spatio-temporelles à différentes échelles pour caractériser les sols nus et les cultures. Ces informations sont téléchargeables gratuitement à partir de la plateforme Theia<sup>2</sup> qui offre un catalogue d'images de satellites variés et de cartes thématiques dérivées de ces observations. Depuis 2016, grâce au programme européen Copernicus de surveillance de la terre, un certain nombre de services opérationnels délivre notamment des images des satellites Sentinel (1 et 2) à hautes résolutions spatiale et temporelle couvrant un large domaine spectral<sup>3</sup>. Sentinel 1 fournit des images tous les six jours dans le domaine des hyperfréquences (bande C avec deux polarisations VV et VH) et Sentinel 2 des réflectances tous les trois à cinq jours dans l'optique et le moyen infrarouge. Les deux satellites ont des pixels à dix mètres de résolution, ce qui permet de distinguer les parcelles.

1. Explore 2 : <https://professionnels.ofb.fr/fr/node/1244>

2. Plateforme Theia : <https://www.theia-land.fr/>

3. Sentinel 1 et 2 (programme Copernicus) : [https://www.esa.int/Enabling\\_Support/Operations/Sentinels](https://www.esa.int/Enabling_Support/Operations/Sentinels)

Suivant le domaine spectral considéré, différentes informations sont accessibles pour caractériser les agrosystèmes (Courault *et al.*, 2020). Ainsi dans le domaine optique, la signature spectrale de la végétation verte se distingue nettement par une absorption du signal mesuré dans le rouge et une forte réflectance dans le proche infrarouge. Ce domaine optique, dont on extrait un indice normalisé (*Normalized Difference Vegetation Index*, ou NDVI) est le plus souvent utilisé pour cartographier les cultures (Inglada *et al.*, 2015) et suivre leurs stades phénologiques via l'estimation des variables biophysiques telles que l'indice foliaire (LAI), ou encore la fraction de végétation qui couvre le sol (FCover). Les méthodes proposées sont à présent relativement robustes et opérationnelles à différentes résolutions spatiales (Weiss *et al.*, 2020). Ce domaine spectral permet également de bien distinguer les surfaces enneigées et délimiter les lacs et grandes retenues d'eau (Delenne *et al.*, 2021).

Le domaine de l'infrarouge thermique permet d'accéder à la température de surface qui est indirectement liée au statut hydrique des surfaces. Une surface bien alimentée en eau aura une température de surface inférieure à une surface stressée. Différentes approches de modélisation sont basées sur l'utilisation de ces données thermiques combinées à des données optiques pour estimer l'évapotranspiration des surfaces (Khanal *et al.*, 2017). Une chaîne de traitement opérationnelle « EVASPA », développée par les équipes INRAE de l'unité mixte de recherche Environnement méditerranéen et modélisation des agro-hydrosystèmes (EMMAH) et du Centre d'études spatiales de la biosphère (Cesbio), combinant des images dans les domaines optiques et thermiques inclut différents modèles suivant une approche ensembliste<sup>4</sup> pour produire des cartes d'évapotranspiration associées à leur incertitude sur de larges territoires (Gallego-Elvira *et al.*, 2013). Jusqu'à présent, les satellites ayant des bandes spectrales thermiques ne permettaient pas de combiner haute fréquence temporelle et fine résolution spatiale (par exemple, le satellite MODIS délivre une image tous les jours à un kilomètre de résolution dans le domaine thermique Landsat une image tous les seize jours s'il n'y a pas de nuages avec une résolution de l'ordre de cent mètres). À partir de 2026, une nouvelle mission franco-indienne soutenue par le Centre

national d'études spatiales (CNES), la mission TRISHNA, offrira des données optiques et thermiques tous les trois jours à cinquante mètres de résolution et des cartes d'évapotranspiration (ET) dérivées d'EVASPA seront fournies sur tout le globe. Ces produits seront particulièrement utiles pour aider à la gestion de l'eau d'irrigation (Roujean *et al.*, 2021). S'il y a des nuages, il n'est pas possible d'exploiter ces images optiques ou thermiques. Le temps de revisite d'une même zone doit être élevé pour pouvoir interpoler les données entre deux dates d'acquisition, sinon il faut utiliser des données radar qui délivrent des données quel que soit l'état du ciel.

Le domaine des micro-ondes, qu'il soit passif ou actif, génère des signaux qui sont influencés par les propriétés diélectriques des surfaces, c'est-à-dire par leur capacité à conduire et à pénétrer les ondes électromagnétiques. En micro-ondes passives, ces signaux prennent la forme de températures de brillance, tandis qu'en micro-ondes actives, ils se manifestent par des coefficients de rétrodiffusion. Ces signaux sont particulièrement sensibles à la teneur en eau de la végétation et des premiers centimètres du sol, ainsi qu'à des caractéristiques structurales comme la rugosité du sol et la densité ou la géométrie du couvert végétal. Des cartes de l'humidité de la couche superficielle du sol (sur environ les cinq premiers centimètres) sont disponibles à l'échelle globale tous les trois jours depuis 2010, à partir de différents capteurs radar tels que SMAP, SMOS, MODIS (Molero *et al.*, 2016) et plus récemment sur certaines parties de la France à partir de Sentinel 1 à l'échelle parcellaire via la plateforme Theia (Bazzi *et al.*, 2021).

De nombreuses variables d'intérêt liées à l'eau (synthétisées dans le tableau ❶) sont à présent en libre accès et permettent d'identifier les différents types de cultures, suivre les humidités de surface et la dynamique des couverts. En revanche les cartographies des zones irriguées réactualisées chaque année sur tout le territoire ne sont pas encore disponibles même si différentes méthodes pré-opérationnelles ont déjà été évaluées sur un certain nombre de régions (Demarez *et al.*, 2019a, 2019b). L'estimation des dates d'irrigation et des volumes d'eau apportés est encore au stade de recherche. Les sections suivantes décrivent les avancées sur ces points.

**Tableau ❶ – Produits opérationnels utiles pour suivre les cultures et aider à la gestion de l'eau (voir aussi les autres produits disponibles sous THEIA : <https://www.theia-land.fr/produits-thematiques/>).**

Variable d'intérêt	Produits (source) détails
Identification des cultures	Cartographie OSO THEIA, France <sup>5</sup> + DOM (Sentinel) 24 classes échelle pixel et parcelle.
Humidité des sols	Copernicus products SM <sup>6</sup> daily 1 km, SMP THEIA (plot) <sup>7</sup> échelle parcelle tous les 6 jours Sentinel 1.
Variables biophysiques	Copernicus products LAI <sup>8</sup> , FCOVER, F APAR (300 m –1 km) (Sentinel 2), à venir 2025 (10 m THEIA).
Évapotranspiration	MODIS16 <sup>9</sup> (8 jours) 500-1km NASA, (à venir 2026 cartes ET sorties EVASPA pour TRISHNA).
Réservoirs, étendues d'eau	ASTWBD <sup>10</sup> (30 m ASTER), MYD28C3 <sup>11</sup> (MODIS 1 km) SWOT <sup>12</sup> .

4. Basée sur la théorie des ensembles, branche fondamentale des mathématiques qui étudie les ensembles (collection d'éléments). Ici, les éléments sont différents modèles d'estimation de l'évapotranspiration.

5. <https://www.theia-land.fr/ceslist/ces-occupation-des-sols/>

6. <https://land.copernicus.eu/en/map-viewer>

7. <https://www.theia-land.fr/product/humidite-du-sol-a-tres-haute-resolution-spatiale/>

8. <https://land.copernicus.eu/global/products/lai>

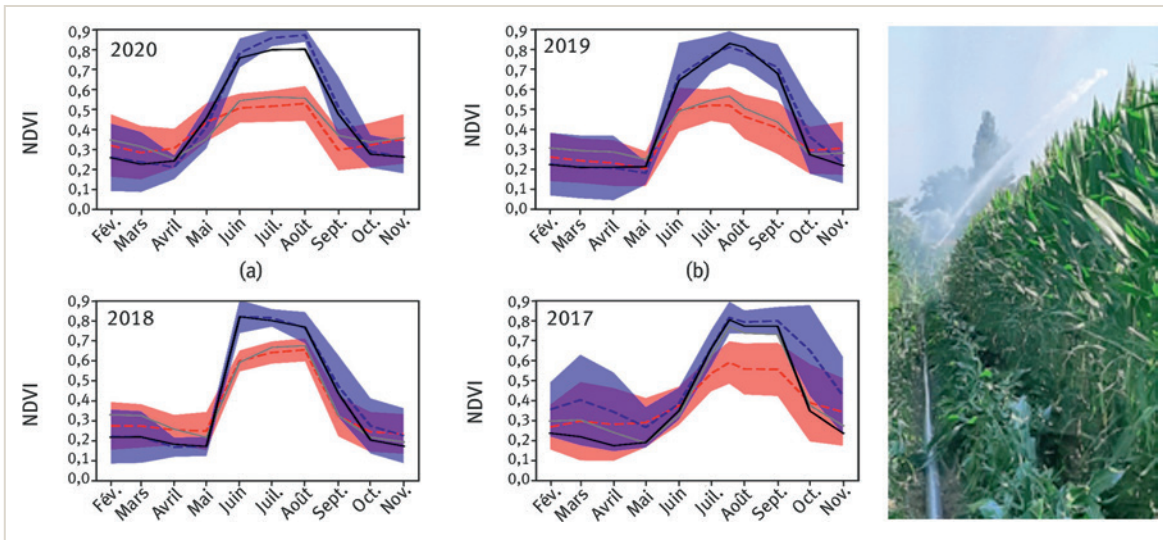
9. <https://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/mod16.php>

10. <https://lpdaac.usgs.gov/products/astwbdv001/>

11. <https://lpdaac.usgs.gov/products/myd28c2v061/>

12. <https://www.theia-land.fr/product/surfwater-suivi-dynamique-de-surfaces-en-eau/>

**Figure 1** – Profils temporels de NDVI calculés sur des cultures irriguées dans le Sud-Ouest de la France pour différentes années à partir d'images Sentinel 2 ( la ligne pointillée rouge représente les parcelles non irriguées sélectionnées, la ligne grise les parcelles *in situ* non irriguées, la ligne pointillée bleue, les parcelles irriguées sélectionnées (les zones ombrées l'écart-type) (Bazzi *et al.*, 2024).



## Les produits issus de la télédétection disponibles et en cours de développement utiles pour la gestion de l'eau en agriculture

### Cartes des cultures

Pour la gestion territoriale de l'eau, il est important de connaître les consommations d'eau pour chaque espèce cultivée qui dépendent bien évidemment du type de culture, de son stade de développement et des réserves du sol. La connaissance de l'ensemble des cultures à l'échelle territoriale ou d'un bassin versant, est souvent très incomplète. Il existe des déclarations de cultures faites par les agriculteurs pour recevoir des subventions PAC<sup>13</sup> qui sont répertoriées dans le registre parcellaire graphique (RPG), mais qui ne couvrent pas toutes les cultures et ces informations sont délivrées avec un certain délai quelques mois après la fin de l'année déclarée. L'utilisation d'images satellitaires permet une mise à jour plus fréquente, avec des précisions parfois très élevées pour certaines cultures, sans pour autant garantir une précision absolue, compte tenu de la période d'acquisition des images et de la proximité des signatures spectrales entre certaines cultures. La carte annuelle délivrée par la plateforme Theia distingue actuellement vingtquatre classes, dont, dans les cultures d'été, le maïs, tournesol, sorgho, riz, soja et cultures de type tubercules/racines. Cette carte est fournie en format raster sur l'ensemble de la France et des départements d'outre-mer. Elle est aussi disponible en format vecteur moyenné selon le parcellaire. Généralement accessible au début du premier trimestre de l'année suivante, elle permet de créer une couche d'occupation du sol, en complément du RPG. Des améliorations sont en cours pour sortir des cartes à une fréquence plus élevée et prendre notamment en compte les rotations intra-annuelles et les intercultures (développement en cours au Cesbio). Par ailleurs, BPI France et le CNES financent actuellement des projets coordonnés par des entreprises privées (KERMAP<sup>14</sup> et MEOOS<sup>15</sup>) incluant une expertise recherche

(INRAE EMMAH et Cesbio), pour produire régulièrement à plus haute fréquence à l'échelle de la France des cartographies des intercultures et des surfaces irriguées. Les sorties opérationnelles sont attendues pour 2026. La mise à disposition des données Sentinel 2 corrigées via Theia, ainsi que d'algorithmes pour la cartographie des surfaces, facilite de plus en plus l'adoption de méthodes pour créer des cartographies spécifiques. Cela inclut, par exemple, l'utilisation combinée des images Sentinel 1 et 2, l'application de multiples indices composites et l'emploi d'algorithmes de classification accessibles sur des plateformes en ligne (voir par exemple Orieschnig *et al.*, 2021).

### Cartographie des surfaces irriguées

#### L'utilisation d'indices de végétation

De nombreuses études ont montré que les indices de végétation calculés à partir de bandes spectrales dans le domaine de l'optique permettent de distinguer des cultures irriguées des cultures pluviales (Pageot *et al.*, 2020). Suivant l'importance des apports d'eau d'irrigation par rapport aux apports naturels, les différences de développement des cultures seront plus ou moins marquées. Ainsi, la distinction sera plus ou moins précise selon les cultures, les régions et les années. La figure 1 illustre la variation des indices de végétation pour des parcelles de maïs (irriguées en mauve et non irriguées en rose) dans le Sud-Ouest de la France, pour quatre années successives. Suivant les périodes de l'année, l'écart est plus marqué. L'été, où les apports d'eau sont importants, permet de mieux identifier les parcelles irriguées. Ren *et al.* (2021) ont utilisé le NDVI de MODIS et de Landsat en évaluant trois algorithmes de classifications (*Random Forest*, *Support Vector Machine* et réseau de neurones) pour cartographier du maïs irrigué et pluvial dans le

13. Politique agricole commune.

14. <https://kermap.com/>

15. <https://meoss.net/>

Nebraska et obtenu une précision élevée variant entre 89 et 90 %. La précision est très dépendante du jeu d'observations utilisé pour l'entraînement de ces méthodes. Plus les données sont nombreuses et représentatives de la variabilité de la zone d'étude, plus les scores sont élevés.

#### Algorithmes, combinaison d'images, multi-temporalité : les recherches en cours

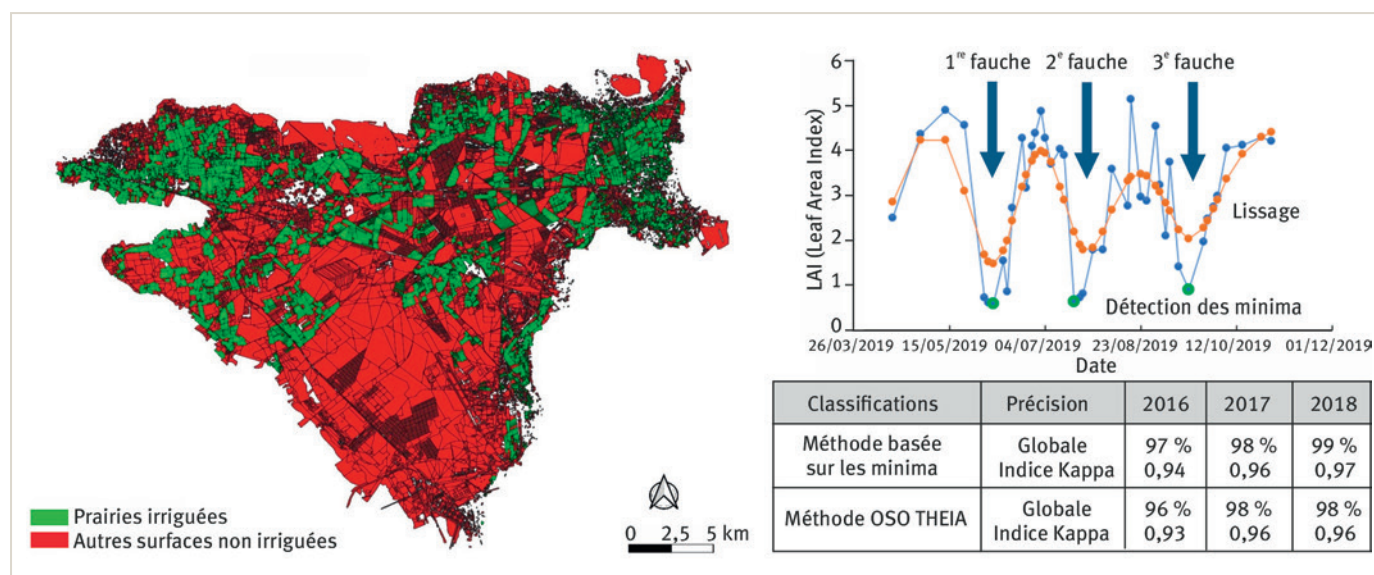
Une façon de s'affranchir de l'acquisition de données au sol (souvent lourde et coûteuse) est de se baser sur l'utilisation de points caractéristiques issus de l'analyse des séries temporelles calculées à l'échelle des parcelles individualisées. Cette méthode a été utilisée par Abubakar *et al.* (2022) pour cartographier les prairies irriguées de Crau et a donné de très bonne précision de détection des surfaces irriguées variant suivant les années entre 96 et 98 %, supérieure à la classification OSO fournie par Theia. Les prairies irriguées se distinguent par trois fauches en cours d'année, faisant chuter la surface foliaire. La méthode repose sur la détection des minima de LAI sur une période définie par des seuils calibrés à partir d'un jeu restreint de parcelles connues (figure 2). Bazzi *et al.* (2019a) ont proposé une autre méthode basée sur l'utilisation de métriques dérivées de l'analyse du profil temporel du rapport de signaux radar Sentinel 1 (VV/VH, rapport des deux polarisations reçues suivant une cible verticale et horizontale) pour cartographier le riz en Camargue. Une classification de type Random Forest utilise ensuite ces métriques pour cartographier les cultures. La précision obtenue est élevée, de l'ordre de 96 % de parcelles irriguées bien classées sur l'ensemble de la région. Afin de couvrir un panel plus diversifié de cultures, Bazzi *et al.* (2019b) ont développé une approche combinant données optiques (NDVI issu de Sentinel 2) et radar (VV et VH) pour distinguer les cultures irriguées de différentes régions. La méthode se décompose en plusieurs étapes selon un arbre de décision avec une structure hiérarchique. Elle considère les écarts de

polarisation VV (bande considérée souvent plus sensible à l'humidité de surface) entre deux dates successives en comparant deux résolutions spatiales 10 m et 10 km. Suivant la variation observée pour les deux résolutions 10 m et 10 km, des hypothèses sont posées en considérant que la pluie affecte une plus grande zone que l'irrigation. Cette méthode a été appliquée avec succès sur le bassin de la Durance (figure 3) et a été comparée à la méthode lota2 développée par Le Cesbio (Pageot *et al.*, 2020), reposant sur une classification Random Forest considérant un grand nombre d'observations pour la calibration. Les précisions de détection des zones irriguées sont élevées pour les deux méthodes (> 75 %) avec des variations suivant les secteurs du territoire analysé et suivant les années. Si la méthode lota2 donne plutôt des meilleurs scores sur l'ensemble du bassin et permet de couvrir toutes les cultures, elle demande néanmoins un échantillonnage spatial représentatif suffisant et les années humides peuvent conduire à des cultures irriguées moins bien identifiées par rapport aux cultures pluviales. La première méthode semi-supervisée (Bazzi *et al.*, 2019b) présente l'avantage de caler un certain nombre de seuils en fonction d'un échantillon de parcelles réduit, mais elle ne peut pas s'appliquer pour l'instant aux vignes/vergers sur lesquels l'algorithme n'est pas encore adapté. Une des limites majeures lors de l'utilisation des données radar en bande C pour la détection de l'irrigation est la pénétration limitée du signal en bande C (longueur d'onde ~ 6 cm) pour les couverts très développés.

#### Estimation par télédétection des dates d'irrigation et des quantités d'eau apportées

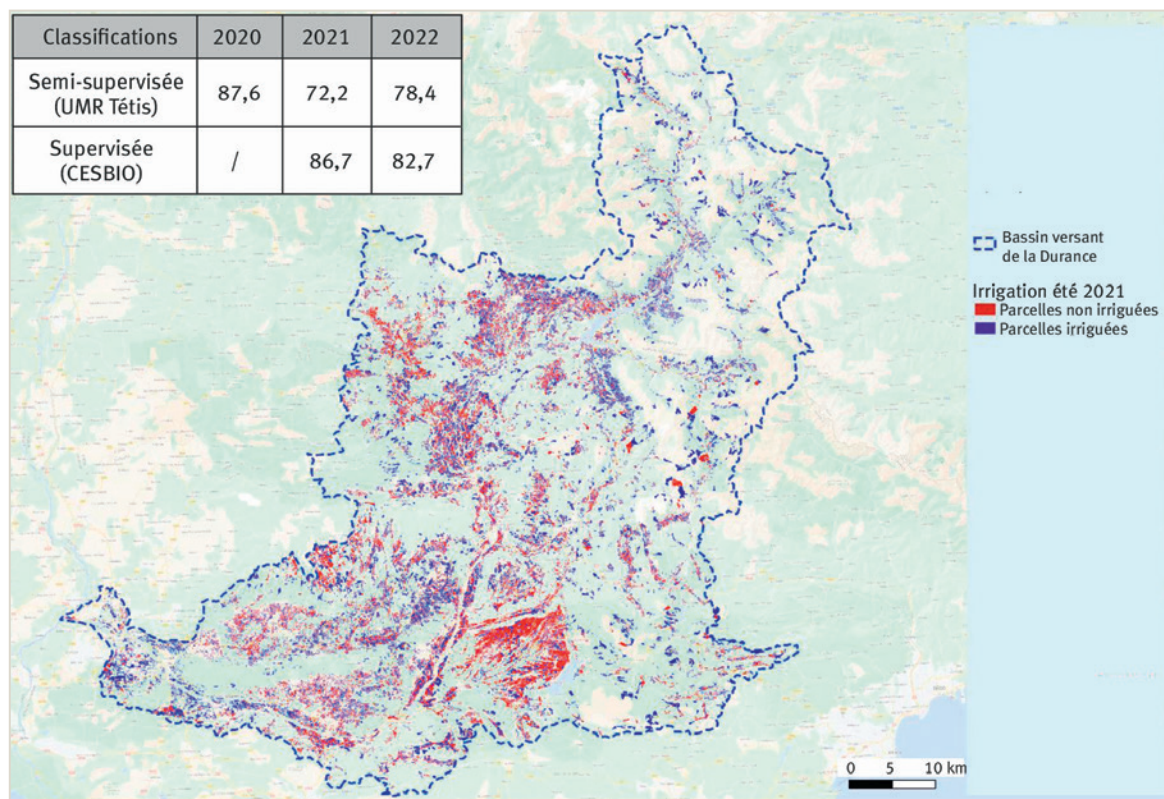
Une première catégorie de méthodes repose uniquement sur des données de télédétection, principalement radar telles que celle proposée par El Hajj *et al.* (2014). Ces auteurs ont utilisé les données radar SAR<sup>16</sup>, TerraSAR

Figure 2 – Cartographie des prairies irriguées en Crau (zones vertes) basées sur la détection des minima détectés sur le profil temporel du LAI dérivé de Sentinel 2 calculé pour chaque parcelle (courbe bleue, ou courbe orange pour les valeurs lissées). Les performances ont été comparées à la classification OSO fournie par Theia pour différentes années (Abubakar *et al.*, 2022).



16. Radar SAR (Synthetic Aperture Radar) est une technologie de radar avancée qui permet d'obtenir des images en deux dimensions.

**Figure 3** – Résultats de cartographies des cultures irriguées sur le bassin de la Durance obtenus suivant deux méthodes : méthode semi-supervisée développée à l'UMR Tétis (Bazzi *et al.*, 2020b), et méthode supervisée, Iota2 développée au Cesbio (Pageot *et al.*, 2020) et précisions de cultures bien classées (%) calculées sur trois années (travail réalisé dans le cadre du projet LIFE Eau supervisé par le Syndicat mixte d'aménagement de la Durance (SMAVD 17)).



17. [https://www.gesteau.fr/sites/default/files/gesteau/content\\_files/document/C3-SMAVD\\_Teledec%26Irrigation\\_RAPPORT%20FINAL\\_vdef.pdf](https://www.gesteau.fr/sites/default/files/gesteau/content_files/document/C3-SMAVD_Teledec%26Irrigation_RAPPORT%20FINAL_vdef.pdf)

en bande X pour détecter des dates d'irrigation de prairies en Crau et montré que les arrosages pouvaient être identifiés jusqu'à trois jours avant l'acquisition SAR. Si les images TerraSAR sont intéressantes notamment pour leur fine résolution (1 m), elles couvrent une superficie plus limitée et sont moins fréquentes pour un suivi opérationnel. La méthode a été améliorée par Bazzi *et al.* (2020a) qui ont construit un algorithme d'arbre de décision capable de détecter les événements d'irrigation à l'échelle de la parcelle à partir de données Sentinel 1 plus accessibles (notamment en utilisant la bande VV). L'algorithme, appelé IEDM (*Irrigation Events Detection Model*) a été appliqué sur différentes cultures de prairies en Crau et céréales en Catalogne, Occitanie, et région Provence-Alpes-Côte d'Azur en France (Baghdadi *et al.*, 2019). La méthode compare le signal VV rétrodiffusé à l'échelle de la parcelle à celui obtenu à l'échelle du bassin (10 km x 10 km) en supposant que ce dernier n'est affecté que par les précipitations tandis que le premier est affecté à la fois par les précipitations et l'irrigation. Sur la Crau, l'irrigation est gravitaire avec des arrosages tous les huit à dix jours de mars à octobre (figure 4). La précision globale obtenue est de 82 % d'épisodes correctement détectés. La méthode a été appliquée dans différents contextes agroclimatiques notamment sur des céréales en Grèce et au Liban (Bazzi *et al.*, 2022, 2020b). La précision globale est plus faible de l'ordre de 67 %. Elle varie en fonction des conditions climatiques des

zones étudiées (généralement plus élevée dans les régions semi-arides 85 % et plus faible dans les zones tempérées, 53 %) (Bazzi *et al.*, 2022).

D'autres approches d'estimation des volumes d'eau d'irrigation s'appuient sur la réponse de la culture aux apports d'eau, en combinant modèles de culture et données de télédétection pour retrouver les dates et doses apportées (Hamze *et al.*, 2023a ; Hamze *et al.*, 2023b). Dans Hamze *et al.* (2023b), les LAI dérivés des données Sentinel 2 sont confrontés aux prédictions simulées à partir du modèle de culture Optirrig. Le modèle réalise autant de simulations que de combinaisons couplant dates d'irrigation et doses définies. La comparaison des LAI simulés aux LAI observés permet de retrouver la combinaison la plus probable en utilisant un algorithme d'optimisation. L'application de cette méthode (illustrée sur la figure 5, à gauche) à des couverts de maïs en région Occitanie a montré que la plupart des dates d'irrigation a été correctement détectée avec des erreurs comprises entre zéro et trois jours, tandis que les doses apportées (20, 30 ou 40 mm) sont aussi globalement bien identifiées dans plus de 80 % des cas. La méthode a été améliorée en considérant dans le même modèle (Optirrig) les humidités de surface dérivées de données Sentinel 1 qui sont comparées aux simulations. La précision est de 86 % de dates d'irrigation retrouvées ((Hamze *et al.*, 2023) Les résultats obtenus sur deux sites sont présentés en figure 5, à droite).

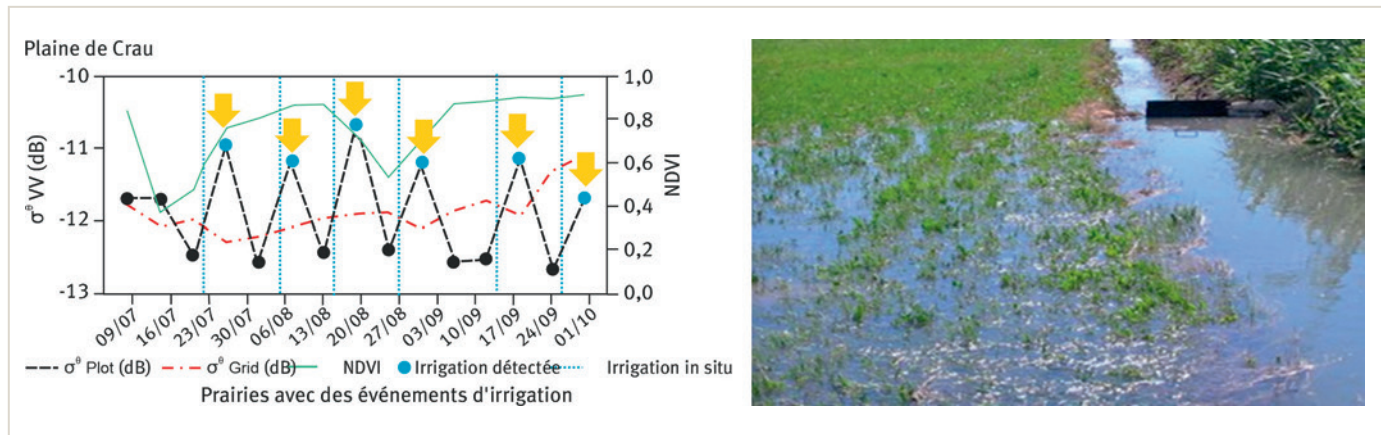
Le problème d'équifinalité peut compliquer la détermination des dates d'irrigation, plusieurs combinaisons de date et dose pouvant donner des résultats quasi identiques. L'information satellitaire peut en revanche être utilisée pour définir l'état du couvert dans un modèle de culture. L'outil SATIRR, par exemple, a été conçu pour l'aide à la décision d'irriguer à partir du modèle SAMIR (Simonneaux *et al.*, 2009). Il est calibré avec des séries temporelles d'indices de végétation. Il a été appliqué au Maroc pour piloter l'irrigation d'une parcelle de blé en temps réel en tenant compte du besoin réel de la plante, estimé à partir d'un coefficient de stress calculé à l'échelle de la parcelle (Le Page *et al.*, 2014). L'outil développé au CESBIO a été transféré à des entreprises privées (Terranis (Wago) et E\_Tumba) pour des applications commerciales.

**Vers une estimation des prélèvements d'eau par l'agriculture à l'échelle de bassins ?**

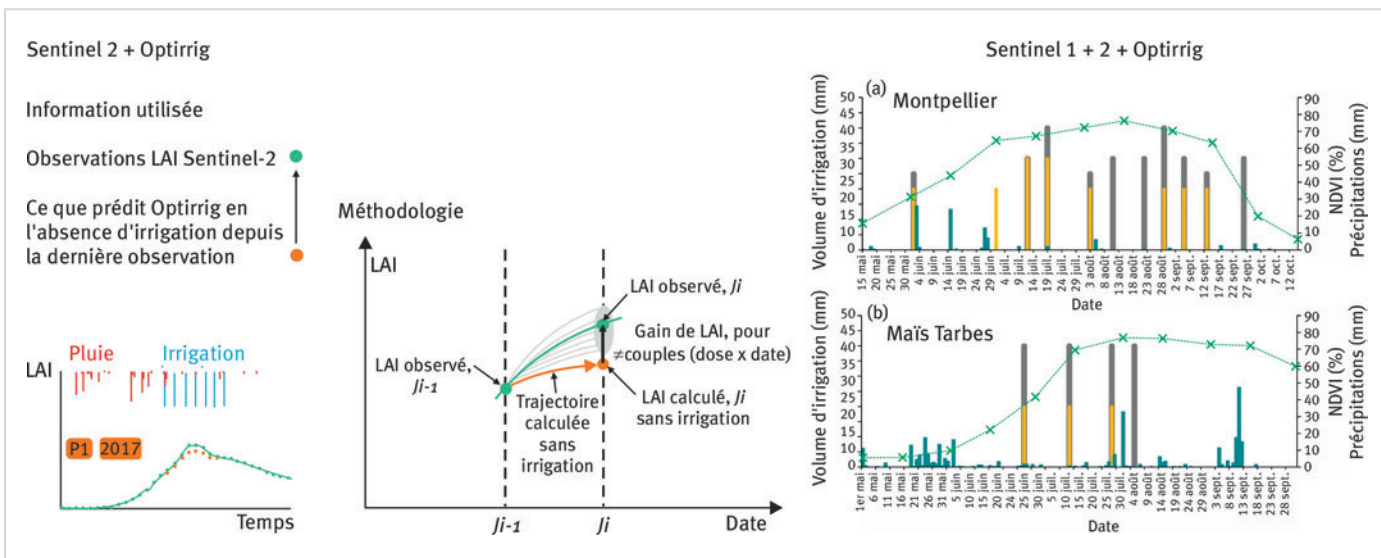
La capacité des méthodes de télédétection pour estimer les consommations en eau des cultures à large échelle (bassins versants, territoires, régions) est bien sûr limitée par la précision des caractérisations obtenues à l'échelle parcellaire (occupation du sol, recours ou non à l'irrigation, calendriers d'irrigation...). Toutefois, considérer un ensemble de parcelles permet de lisser les erreurs et espérer des estimations assez précises des consommations en eau par l'agriculture, à partir de modèles agro-hydrologiques agrégeant les bilans hydriques calculés à l'échelle parcellaire.

L'utilisation des observables de télédétection dans la modélisation agro-hydrologique présente un double intérêt : d'une part prendre en compte la variabilité des

**Figure 4** – Résultats des irrigations détectées (points bleus) sur une prairie de Crau irriguée en gravitaire tous les dix jours, selon la méthode développée par Bazzi *et al.* (2020) basée sur l'utilisation de données Sentinel 1 (trait pointillé en noir, signal VV ascendant à une résolution de 10 m) et de données Sentinel 2 (NDVI en vert). La ligne pointillée rouge correspond au signal VV agrégé à 10 km.



**Figure 5** – Approches inverses combinant modélisation et télédétection pour retrouver les dates d'irrigation et les quantités d'eau apportées (résultats issus de Hamze *et al.*, 2023a ; Hamze *et al.*, 2023b). Graphique de droite : les barres jaunes correspondent aux quantités d'eau simulées apportées par irrigation ; en gris, les données réelles ; en vert : les pluies ; la courbe verte avec les croix au NDVI.



caractéristiques de surface (identification des zones irriguées, proximité des ressources en eau potentielles) ; d'autre part, pouvoir caler et/ou valider certains paramètres (ou variables d'intérêt) à partir d'observations ou produits issus des données satellites (LAI/FCOVER, humidité des sols, évapotranspiration réelle). L'utilisation d'indices de végétation (comme le NDVI), obtenus à partir de Sentinel 2, permet par exemple de caler les paramètres représentant le développement des cultures (dates d'émergence, FCOVER, coefficient cultural), spatialisés à l'échelle d'un territoire. Brochet *et al.* (2024) montrent ainsi, sur le bassin de la Gimone (Garonne amont), l'intérêt de cette spatialisation obtenue à partir de données Sentinel 2 sur ce bassin de 800 km<sup>2</sup>, où les dates d'émergence observées pour le maïs sont échelonnées sur deux mois. L'ajustement des phases de développement permet ainsi de bien reconstituer les prélèvements d'eau d'irrigation à l'échelle du bassin (figure 6).

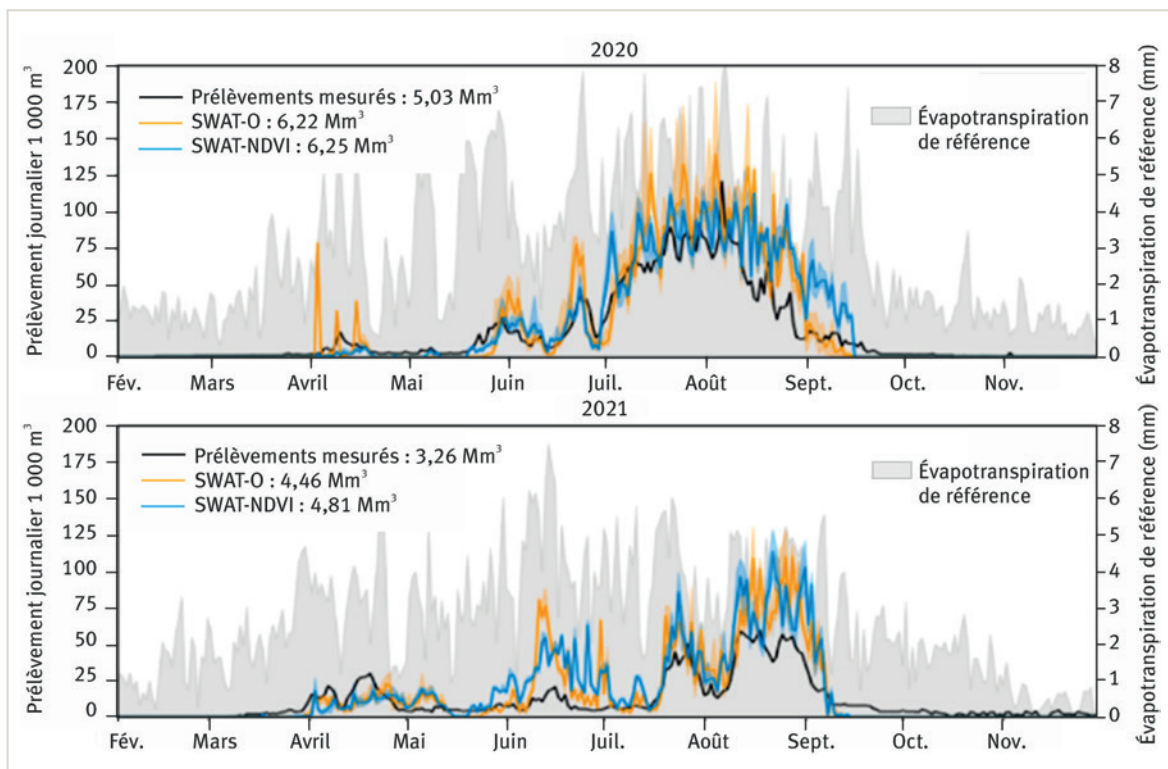
Un autre exemple de plateforme de modélisation couplant modèle de culture (STICS), modèle hydrologique (MODCOU) et intégrant de la télédétection pour cartographier les cultures irriguées est le simulateur spatialisé qui a été appliqué sur la Crau, et qui permet de reproduire les productions de prairies et d'évaluer l'impact des irrigations sur la recharge de la nappe (Trolard *et al.*, 2020). L'introduction des produits dérivés de satellites tels que le LAI, la date de coupe dans le modèle STICS a montré une amélioration significative des simulations de production des prairies (Courault *et al.*, 2020). Ces

modèles lorsqu'ils sont bien calibrés, permettent de simuler des scénarios de changements de pratiques, notamment de diminution de l'irrigation et de quantifier les impacts sur les ressources (Bailleux *et al.*, 2015 ; Trolard *et al.*, 2020).

### Conclusion

La télédétection, couplée à l'utilisation de modèles agro-hydrologiques, représente un potentiel important pour le suivi et la gestion des volumes d'eau utilisés par l'agriculture. Certaines méthodes sont maintenant suffisamment matures pour être utilisées de manière opérationnelle, comme les cartes d'occupation du sol (produit OSO de Theia, le suivi du développement de couverts végétaux via l'analyse de séries temporelles d'indices de végétation et sous certaines conditions la détection des surfaces irriguées. Ces différentes informations peuvent permettre d'adapter les apports d'eau suivant les réels besoins des cultures et ainsi d'optimiser les ressources, surtout en période critique l'été. Il reste certains verrous à lever, comme la détection de cultures associées ou intermédiaires, ou encore la capacité à détecter les techniques d'irrigation et les volumes d'eau apportés par irrigation pour les cultures pérennes comme la vigne ou les vergers. L'estimation des volumes utilisés en est encore à ses débuts et doit faire l'objet de recherches avant d'espérer des méthodes opérationnelles sur ce type de cultures. L'estimation à l'aide de la télédétection de la réserve utile des sols, élément déterminant des stratégies d'irrigation, est également une piste de recherche essentielle.

**Figure 6** – Calcul des prélèvements agricoles simulés à partir du modèle SWAT versus prélèvements mesurés, Gimone et Marcaoué, comparaison pour deux années de simulations avec apport (en bleu) et sans apport de la télédétection (en jaune) (Brochet *et al.*, 2024).



L'accès à de plus en plus de nouvelles informations, couplées à des méthodes d'assimilation de données multi-capteurs dans les modèles agro-hydrologiques, d'usages de modèles basés sur l'intelligence artificielle devrait permettre de grandes avancées pour accéder à ces variables d'intérêt. La mission franco-indienne TRISHNA, avec notamment un suivi à haute résolution spatiale et temporelle des températures de surface, ouvre aussi de nouvelles perspectives pour le suivi des systèmes irrigués et la détection de zones touchées par des stress hydriques. Ces données seront capitales dans les années futures pour aider les gestionnaires de l'eau à l'échelle des territoires et diminuer les conflits entre usagers.

## NOTE DES AUTEURS

Cette synthèse des travaux en télédétection des surfaces irriguées s'appuie sur les réflexions menées par le consortium GI-EAU financé par le métaprogramme « CLIMAE » d'INRAE.

## RÉFÉRENCES

- Abubakar, M., Chanzy, A., Pouget, G., Flamain, F., & Courault, D. (2022). Detection of irrigated permanent grasslands with sentinel-2 based on temporal patterns of the leaf area index (LAI). *Remote Sensing*, 14(13), 3056. <https://doi.org/10.3390/rs14133056>
- Baghdadi, N., Bazzi, H., El Hajj, M., & Zribi, M. (2019). Analysis of Sentinel-1 derived soil moisture maps over Occitanie, South France. In "IGARSS 2019-2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium", pp. 6275-6278. IEEE. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2019.8899078>
- Bailleux, A., Olioso, A., Trolard, F., Chanzy, A., Lecerf, R., Lecharpentier, P., Ruget, F., & Ruy, S. (2015). Changement global : quels impacts sur l'aquifère de la crau ? *Revue Société géologique de France : géologues*, numéro 187, ISSN0016.7916, 6 p.
- Bazzi, H., Baghdadi, N., El Hajj, M., Zribi, M., Minh, D. H. T., Ndikumana, E., Courault, D., & Belhouchette, H. (2019a). Mapping Paddy Rice Using Sentinel-1 SAR Time Series in Camargue, France. *Remote Sensing* 11. <https://doi.org/10.3390/rs11070887>
- Bazzi, H., Baghdadi, N., Ienco, D., El Hajj, M., Zribi, M., Belhouchette, H., Escorihuela, M. J., & Demarez, V. (2019b). Mapping Irrigated Areas Using Sentinel-1 Time Series in Catalonia, Spain. *Remote Sensing* 11. <https://doi.org/10.3390/rs11151836>
- Bazzi, H., Baghdadi, N., Fayad, I., Charron, F., Zribi, M., & Belhouchette, H. (2020a). Irrigation events detection over intensively irrigated grassland plots using Sentinel-1 data. *Remote Sensing* 12, 4058. <https://doi.org/10.3390/rs12244058>
- Bazzi, H., Baghdadi, N., Fayad, I., Zribi, M., Belhouchette, H., & Demarez, V. (2020b). Near real-time irrigation detection at plot scale using sentinel-1 data. *Remote Sensing* 12, 1456. <https://doi.org/10.3390/rs12091456>
- Bazzi, H., Baghdadi, N., Amin, G., Fayad, I., Zribi, M., Demarez, V., & Belhouchette, H. (2021). An Operational Framework for Mapping Irrigated Areas at Plot Scale Using Sentinel-1 and Sentinel-2 Data. *Remote Sensing* 13, 2584. <https://doi.org/10.3390/rs13132584>
- Bazzi, H., Baghdadi, N., Najem, S., Jaafar, H., Le Page, M., Zribi, M., Faraslis, I., & Spiliotopoulos, M. (2022). Detecting irrigation events over semi-arid and temperate climatic areas using Sentinel-1 data: case of several summer crops. *Agronomy* 12, 2725. <https://doi.org/10.3390/agronomy12112725>
- Bazzi, H., & Baghdadi, N. (2024). Irrigation Monitoring Using High Spatial and Temporal Resolutions Remote Sensing Time Series. *Multitemporal Earth Observation Image Analysis: Remote Sensing Image Sequences*, 123-149.
- Brochet, E., Grusson, Y., Sauvage, S., Lhuissier, L., & Demarez, V. (2024). How to account for irrigation withdrawals in a watershed model. *Hydrology and Earth System Sciences*, 28(1), 49-64. <https://doi.org/10.5194/hess-28-49-2024>
- Courault, D., Le Page, M., Jarlan, L., & Khabba, S. (2020). *Quels sont les capteurs et les méthodes disponibles en télédétection pour aider à la gestion de l'eau. L'eau en milieu agricole*, Éditions Quae.
- Delenne, C., Bailly, J. S., Rousseau, A., Hostache, R., & Boutron, O. (2021). Endorheic waterbodies delineation from remote sensing as a tool for immersed surface topography. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* 19, 1-5. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2021.3079718>
- Demarez, V., Helen, F., Marais-Sicre, C., and Baup, F. (2019). In-Season Mapping of Irrigated Crops Using Landsat 8 and Sentinel-1 Time Series. *Remote Sensing* 11. <https://doi.org/10.3390/rs11020118>
- El Hajj, M., Baghdadi, N., Belaud, G., Zribi, M., Cheviron, B., Courault, D., & Charron, F. (2014). Irrigated grassland monitoring using a time series of TerraSAR-X and COSMO-SkyMed X-band SAR data, *Remote Sensing*, vol. 6, pp. 10002-10032, <https://doi.org/10.3390/rs61010002>
- Gallego-Elvira, B., Olioso, A., Mira, M., Reyes-Castillo, S., Boulet, G., Marloie, O., Garrigues, S., Courault, D., Weiss, M., Chauvelon, P., & Boutron, O. (2013). EVASPA (Evapotranspiration Assessment from SPACe) tool: An overview. Four Decades of Progress in Monitoring and Modeling of Processes in the Soil-Plant-Atmosphere System. *Applications and Challenges* 19, 303-310. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2013.06.035>
- Hamze, M., Cheviron, B., Baghdadi, N., Lo, M., Courault, D., & Zribi, M. (2023a). Detection of irrigation dates and amounts on maize plots from the integration of Sentinel-2 derived Leaf Area Index and LUEs in the Optirrig crop model. *Agricultural Water Management*, 283, 108315. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108315>

## RÉFÉRENCES (SUITE)

- Hamze, M., Cheviron, B., Baghdadi, N., Courault, D., & Zribi, M. (2023b). Plot-Scale Irrigation Dates and Amount Detection Using Surface Soil Moisture Derived from Sentinel-1 SAR Data in the Optirrig Crop Model. *Remote Sensing* 15, 4081. <https://doi.org/10.3390/rs15164081>
- Inglada, J., Arias, M., Tardy, B., Hagolle, O., Valero, S., Morin, D., Dedieu, G., Sepulcre, G., Bontemps, S., Defourny, P., & Koetz, B. (2015). Assessment of an Operational System for Crop Type Map Production Using High Temporal and Spatial Resolution Satellite Optical Imagery. *Remote Sensing* 7, 12356-12379. <https://doi.org/10.3390/rs70912356>
- Khanal, S., Fulton, J., & Shearer, S. (2017). An overview of current and potential applications of thermal remote sensing in precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture* 139, 22-32. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.05.001>
- Le Page, M., Toumi, J., Khabba, S., Hagolle, O., Tavernier, A., Kharrou, M. H., ... & Jarlan, L. (2014). A life-size and near real-time test of irrigation scheduling with a sentinel-2 like time series (SPOT4-Take5) in Morocco. *Remote Sensing*, 6(11), 11182-11203. <https://doi.org/10.3390/rs6111182>
- Molero, B., Merlin, O., Malbêteau, Y., Al Bitar, A., Cabot, F., Stefan, V., Kerr, Y., Bacon, S., Cosh, M., & Bindlish, R. (2016). SMOS disaggregated soil moisture product at 1 km resolution: Processor overview and first validation results. *Remote Sensing of Environment* 180, 361-376. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.02.045>
- Orieschnig, C. A., Belaud, G., Venot, J. P., Massuel, S., & Ogilvie, A. (2021). Input imagery, classifiers, and cloud computing: Insights from multi-temporal LULC mapping in the Cambodian Mekong Delta. *European Journal of Remote Sensing*, 54(1), 398-416. <https://doi.org/10.1080/22797254.2021.1948356>
- Pageot, Y., Baup, F., Inglada, J., Baghdadi, N., & Demarez, V. (2020). Detection of irrigated and rainfed crops in temperate areas using Sentinel-1 and Sentinel-2 time series. *Remote Sensing* 12, 3044. <https://doi.org/10.3390/rs12183044>
- Ren, J., Shao, Y., Wan, H., Xie, Y., & Campos, A. (2021). A two-step mapping of irrigated corn with multi-temporal MODIS and Landsat analysis ready data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 176, 69-82. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2021.04.007>
- Roujean, J. L., Bhattacharya, B., Gamet, P., Pandya, M., Boulet, G., Olioso, A., Singh, S., Shukla, M., Mishra, M., & Babu, S. (2021). TRISHNA: an Indo-French space mission to study the thermography of the earth at fine spatio-temporal resolution. In "2021 IEEE International India Geoscience and Remote Sensing Symposium (InGARSS)", pp. 49-52. IEEE. <https://doi.org/10.1109/InGARSS51564.2021.9791925>
- Simonneaux, V., Le Page, M., Helson, D., Metral, J., Thomas, S., Duchemin, B., ... & Chehbouni, G. (2009). Estimation spatialisée de l'Evapotranspiration des cultures irriguées par télédétection. Application à la gestion de l'Irrigation dans la plaine du Haouz (Marrakech, Maroc). *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 20(1), 123-130. <https://ird.hal.science/ird-00389327v1>
- Trolard, F., Alcazar, C., Bailleux, A., Bourrié, G., Chanzy, A., Cognard, A. L., Courault, D., Guillon, M., Olioso, A., Ruy, S. (2020). Influence des changements globaux sur l'évolution quantitative des ressources en eau en plaine de Crau. Chapitre 20. In Leenhardt, D., Voltz, M., Barreteau, O., *L'eau en milieu agricole. Outils et méthodes pour une gestion intégrée et territoriale*, Versailles, Éditions Quae, 288p, (coll synthèses ouvrage) ISTE INRA, pp. 261-270
- Weiss, M., Jacob, F., & Duveiller, G. (2020). Remote sensing for agricultural applications: A meta-review. *Remote sensing of environment* 236, 111402. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111402>





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.

## Efficiences de l'irrigation à la parcelle. Quelles marges de manœuvre pour des économies d'eau ?

Claire WITTLING<sup>1</sup>

<sup>1</sup> G-EAU, INRAE, AgroParisTech, Cirad, IRD, Montpellier SupAgro, Univ Montpellier, BP 5095, 34196 Montpellier Cedex 5, France.

Correspondance : Claire WITTLING, [claire.wittling@inrae.fr](mailto:claire.wittling@inrae.fr)

*Dans le contexte du changement climatique, toutes les régions du monde font simultanément face à une demande alimentaire croissante, une baisse de la disponibilité de l'eau et des utilisations concurrentes de l'eau. L'agriculture est responsable de prélèvements d'eau douce principalement pour l'irrigation : environ 70 % des prélèvements totaux au niveau mondial (FAO, 2015) et 12 % en France (Gleick, 2014). Les économies d'eau en irrigation sont donc devenues un besoin urgent. Cet article propose une synthèse bibliographique des différentes approches envisageables pour réduire la consommation de l'eau à l'échelle de la parcelle.*

### Économiser l'eau en réduisant les besoins en eau d'irrigation des cultures

#### Choisir les espèces et variétés cultivées

La consommation en eau des cultures dépend de la position temporelle de leur cycle et de sa durée. Le choix d'espèces à cycle de développement hors des périodes à fortes demandes climatiques réduit les besoins d'irrigation (figure 1). De même, la culture d'espèces physiologiquement tolérantes au stress hydrique, comme le tournesol ou le sorgho, ou d'espèces à capacités élevées d'enracinement et d'extraction de l'eau du sol, comme la vigne ou la luzerne, diminue le risque de pertes de rendement en périodes de forte tension sur la ressource en eau (Leenhardt *et al.*, 2020).

Enfin, les plantes à forte efficacité de rendement ont une capacité physiologique à produire beaucoup de biomasse et un rendement élevé par unité d'eau transpirée. Les oléagineux et légumineuses ont des efficacités de rendement plus faibles que les céréales. Les plantes à métabolisme en C4<sup>1</sup> (maïs, sorgho, canne à sucre...) ont une efficacité de rendement supérieure à celle des plantes en C3 (riz, blé, légumes, arbres fruitiers...).

Choisir ces cultures peut permettre une production par unité d'eau consommée supérieure. Cependant ces cultures, ayant une croissance importante en été, nécessitent des apports d'eau d'irrigation en période de sécheresse.

La diversification et l'allongement des rotations permet d'inclure des espèces moins demandeuses en eau d'irrigation, et donc de réduire les besoins en eau à l'échelle de la rotation culturale.

#### Mieux valoriser l'eau de pluie pour réduire les besoins en eau d'irrigation

Toutes les actions permettant de mieux valoriser les précipitations d'un territoire par l'agriculture vont limiter le recours à l'irrigation. Citons en particulier, les pratiques visant à augmenter l'infiltration d'eau de pluie (cultures en courbes de niveau, billonnage, couverture du sol), et son stockage dans le sol (apport de matières organiques). Par ailleurs, pour une espèce donnée, la stratégie d'esquive consiste à décaler les stades de développement les plus sensibles au déficit hydrique pour qu'ils ne coïncident plus avec des périodes de sécheresse, mais au contraire avec les périodes de plus grande disponibilité

1. Pour les plantes dites « en C4 », la première molécule produite lors de la fixation du CO<sub>2</sub> est un sucre à quatre atomes de carbone (l'oxaloacétate). Alors que pour les plantes dites « en C3 », la première molécule organique produite lors de l'assimilation du CO<sub>2</sub> est une molécule à trois atomes (l'acide phosphoglycérique) (source : Wikipedia).

de l'eau de pluie. Elle permet de réduire les besoins en eau d'irrigation en choisissant des variétés précoces à développement plus rapide et/ou en avançant la date de semis des cultures de printemps dont le cycle de croissance peut se terminer avant les périodes critiques.

**Économiser l'eau en réduisant les pertes en eau ou améliorer l'effizienz**

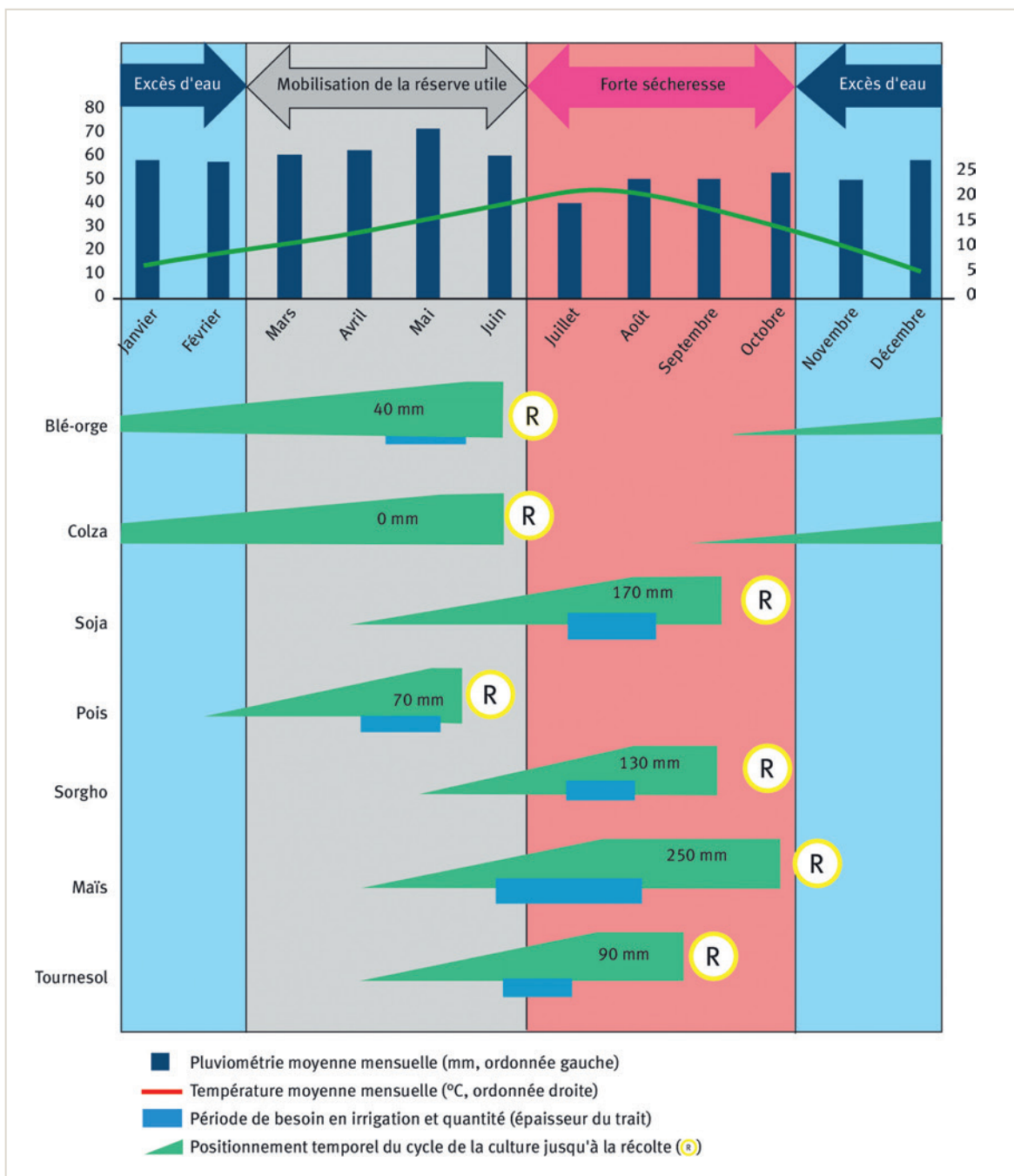
**Qu'est-ce que l'effizienz de l'eau d'irrigation ?**

La définition de l'effizienz de l'irrigation évolue dans le temps, selon les utilisateurs et les échelles considérées (Seckler *et al.*, 2003 ; Jensen, 2007). L'approche historique

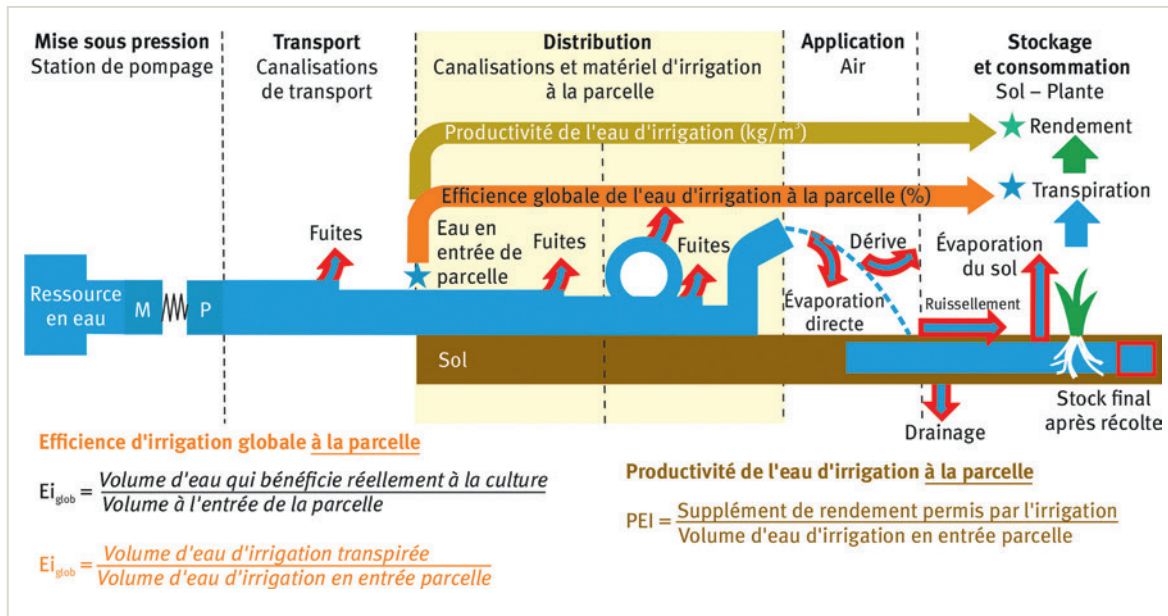
a défini l'« effizienz classique » comme le rapport entre l'eau utilisée de manière bénéfique par la culture et l'eau fournie à la parcelle. Dans ce cas, l'eau quittant la parcelle est considérée comme une perte (Hsiao *et al.*, 2007). Plus tard, l'approche « néoclassique » a pris en compte la part d'eau d'irrigation potentiellement disponible pour une réutilisation en aval (Richter *et al.*, 2017), l'eau quittant la parcelle étant réutilisable à l'échelle du bassin versant.

Depuis sa sortie de la station de pompage jusqu'à son utilisation effective par la culture, l'eau d'irrigation franchit plusieurs étapes : transport jusqu'à la parcelle, distribution dans la parcelle, application dans l'air, stockage dans le sol et consommation par la plante (figure 2).

**Figure 1** – Positionnement temporel et besoins en irrigation des principales grandes cultures sous les conditions pédoclimatiques de Toulouse, pour un sol de 150 mm de réserve en eau (Leenhardt *et al.*, 2020).



**Figure 2** – Cheminement de l'eau d'irrigation et pertes (flèches rouges), dans le cas de l'irrigation par canon-enrouleur avec station de pompage individuelle (M : moteur, P : pompe). Définition de l'effizienz et de la productivité de l'eau.



Diverses pertes peuvent avoir lieu au cours de ce cheminement (flèches rouges). À l'échelle de la parcelle, ces pertes proviennent des fuites dans les canalisations et équipements, de l'évaporation directe dans l'air et de la dérive due au vent en aspersion, du ruissellement et du drainage, de l'eau résiduelle dans le sol après récolte qui représente un stockage excessif d'eau d'irrigation, de la transpiration des mauvaises herbes et enfin de l'évaporation du sol. L'effizienz de l'eau d'irrigation à la parcelle est alors le rapport entre le volume d'eau d'irrigation effectivement transpiré par la culture et le volume d'eau d'irrigation fourni en entrée de parcelle. La productivité de l'eau d'irrigation est le rapport entre le supplément de rendement permis par l'irrigation et le volume d'eau d'irrigation fourni en entrée de parcelle. Économiser l'eau d'irrigation revient à réduire les différentes pertes le long du cheminement de l'eau dans la parcelle, c'est-à-dire à améliorer l'effizienz globale de l'irrigation (voir également Serra-Wittling *et al.*, 2020).

### Quels leviers pour réduire les pertes ?

#### Leviers agronomiques

Les leviers agronomiques sont à actionner en priorité car ils permettent de mieux valoriser l'eau de pluie et ensuite, si l'irrigation s'avère nécessaire, d'économiser de l'eau d'irrigation. Ils agissent sur la taille du réservoir utile (RU) en eau<sup>2</sup> du sol et son remplissage et concernent principalement la gestion du sol. Citons par exemple les pratiques d'agriculture de conservation des sols (ACS) qui reposent sur (1) un travail du sol simplifié voire nul (semis direct), (2) la couverture permanente du sol, et (3) des rotations culturales longues et diversifiées. Dans un agrosystème stabilisé, conduit depuis plusieurs années en ACS, la capacité de rétention en eau du sol dans les horizons de surface est accrue par la forte teneur en matière organique et par une plus forte porosité, ce qui permet de diminuer les pertes par drainage. Les

pertes par ruissellement sont réduites car l'infiltration de l'eau est favorisée par une meilleure structure (stabilité des agrégats), une continuité dans la macroporosité (biopores) et une augmentation de la durée d'infiltration de l'eau (rugosité de surface due aux résidus de culture ou aux couverts végétaux). L'amélioration de la dynamique de fonctionnement du réservoir utile du sol en ACS (infiltration plus importante et plus stable dans le temps) ainsi que sa meilleure utilisation par les cultures (profondeur d'enracinement supérieure) semble jouer un rôle plus important que l'augmentation du RU proprement dit (Alletto *et al.*, 2022). Enfin, les pertes par évaporation du sol sont limitées en raison de l'effet protecteur du couvert végétal mort ou vivant (effet mulch). Selon Raza *et al.* (2011), la pratique de non-labour améliore le stockage d'eau dans le sol de 8 à 33 %, et donc l'effizienz globale de 17 à 30 %. Le mulch à la surface du sol réduit le ruissellement de 10 à 75 % et l'évaporation de 11 à 36 %, ce qui représente une augmentation de l'effizienz globale de 10 à 45 %.

#### Leviers technologiques

Ils concernent les équipements d'irrigation proprement dits, ainsi que la manière de les utiliser.

##### Adopter un système d'application plus effizienz

Un système d'irrigation effizienz permet de réduire les pertes. Ainsi, des économies d'eau sont réalisées en passant de l'irrigation gravitaire ou de l'aspersion à l'irrigation localisée. L'irrigation localisée élimine les pertes par dérive et évaporation directe de l'aspersion. Du fait des doses appliquées plus faibles et des débits plus bas, elle réduit également le ruissellement et le drainage. Le goutte à goutte enterré réduit considérablement l'évaporation de l'eau d'irrigation du sol (Bonachela *et al.*, 2001). Les valeurs moyennes d'effizienz à la parcelle couramment adoptées sont 55-75 % pour l'enrouleur, 60-85 % pour la couverture intégrale, 75-90 % pour les

<sup>2</sup>Le réservoir utile en eau d'un sol (RU) représente la quantité d'eau maximale que le sol peut contenir et restituer aux racines pour la vie végétale (source : GIS SOL).

pivots traditionnels, 70-95 % pour les micro-asperseurs et le goutte à goutte de surface, et 75-95 % pour le goutte à goutte enterré (Howell, 2003).

**Optimiser l'uniformité de distribution**

Une faible uniformité de distribution de l'eau peut être due à un mauvais dimensionnement de l'installation entraînant des écarts de débit, à une variation des conditions hydrauliques de fonctionnement, aux conditions ventées (Weber et Granier, 2012), au colmatage. Une bonne uniformité contribue à une plus grande efficacité car elle évite les zones sur-irriguées et donc les pertes par ruissellement/drainage. Par exemple, en couverture intégrale, Carrión *et al.* (2014) montrent expérimentalement une efficacité plus élevée en quadrillage de 15 m x 15 m qu'en 18 m x 18 m en raison d'une meilleure uniformité avec l'espacement rapproché.

**Améliorer un système existant**

Une autre façon de tirer parti de la technologie consiste à ajouter certains dispositifs à un système existant. Sur canons enrouleurs, les systèmes de brise-jet ou d'angle réglable évitent les pertes en eau par débordement hors de la parcelle ciblée (routes ou parcelles voisines). Sur pivots, un système d'irrigation à débit variable (VRI) peut permettre des économies d'eau de l'ordre de

15 % (Ghinassi et Pezzola, 2014; Zhao *et al.*, 2017) en évitant les zones sur-irriguées et donc les pertes par ruissellement/drainage.

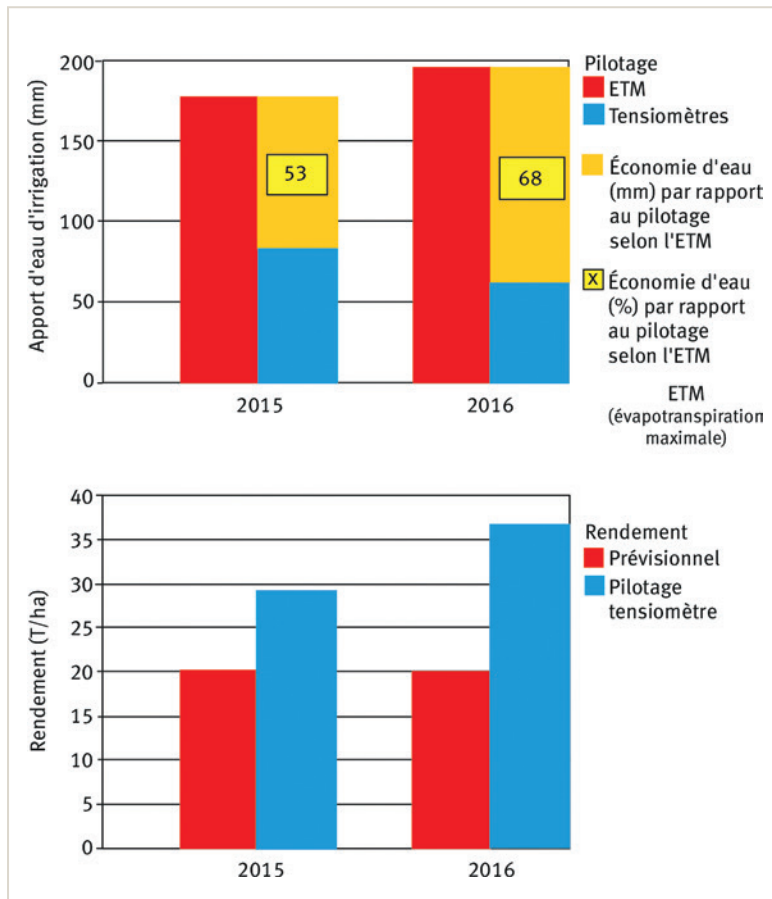
**Optimiser l'utilisation du matériel**

Les problèmes d'étanchéité ou de fuites dans les tuyaux d'amenée d'eau au sein de la parcelle ou dans les équipements eux-mêmes (tuyau d'un enrouleur), provenant de la vétusté du matériel et de son mauvais entretien, sont susceptibles d'entraîner jusqu'à 10% de pertes. Supprimer les fuites permet naturellement d'économiser de l'eau. De même, choisir les heures d'application de l'eau permet de réduire les pertes par évaporation directe en aspersion qui représentent, en règle générale, moins de 5 % de l'eau appliquée lors d'une journée chaude (Molle *et al.*, 2011). On recommande d'éviter d'irriguer en aspersion durant la plage horaire 11-15 h, heure à laquelle la température et le rayonnement sont les plus élevés. Enfin, pour limiter les pertes par dérive, l'aspersion est déconseillée en journées fortement ventées, de même que durant la plage horaire 12-18 h (vent thermique).

**Leviers de pilotage de l'irrigation**

Le pilotage de l'irrigation consiste à ajuster la fréquence et les doses d'irrigation en fonction d'une stratégie d'irrigation optimisée par des modèles ou en fonction des conditions climatiques combinées au statut hydrique mesuré de la plante ou du sol. Les capteurs utilisés pour suivre l'état hydrique des plantes (dendromètres, capteurs de flux de sève...) ou du sol (sondes capacitatives, tensiomètres) permettent d'éviter la sur-irrigation et donc de réduire les pertes par ruissellement, drainage et/ou eau résiduelle dans le sol après la récolte. Les solutions digitales pour le pilotage de l'irrigation (drone, images satellite, stations agro-météo connectées) permettraient des économies d'eau de 15 à 20% par rapport à une irrigation traditionnelle (DATI project, 2021). La figure 3 présente les consommations en eau d'irrigation pour la culture de la courgette de plein champ, avec irrigation en goutte à goutte de surface pilotée soit selon l'évapotranspiration maximale (ETM), soit à l'aide de tensiomètres. L'économie d'eau réalisée grâce aux tensiomètres est de 53 à 68% par rapport au pilotage à l'ETM, avec des rendements nettement supérieurs aux rendements prévisionnels (Gard *et al.*, 2016).

**Figure 3 – Apports d'eau d'irrigation et rendements de courgettes de plein champ. Irrigation au goutte à goutte de surface. Pilotage selon l'évapotranspiration maximale (ETM) ou à l'aide de tensiomètres (seuil de déclenchement 25 cbars dans l'horizon 0-15 cm). Le rendement prévisionnel est l'objectif de production choisi et utilisé pour le calcul des doses de fertilisants. Serra-Wittling et Molle (2017), d'après Gard *et al.* (2016).**



**Quelles marges de manœuvre pour des économies d'eau ?**

**Leviers agronomiques**

Même si de nombreux travaux illustrent l'impact de la gestion du sol sur ses propriétés en lien avec l'eau, trop peu de références existent sur leurs conséquences sur l'irrigation et les économies d'eau. Sur cultures maraîchères en ACS en Uruguay, ayant observé une augmentation du réservoir utile du sol de 9,5 % et une diminution du drainage de 37%, Alliaume *et al.* (2017) modélisent une économie d'eau d'irrigation potentielle allant de 27 à 44%. Cependant, dans la pratique, il est généralement observé que les exploitants en ACS irriguent de la même manière qu'en conventionnel, sans tirer avantage de l'évolution des propriétés de leur sol en ACS. Des recherches complémentaires sont donc encore nécessaires.

**Tableau ❶ – Économies d'eau potentiellement réalisables par un changement de matériel d'irrigation.**

Maïs et autres grandes cultures					
Économie d'eau (%)	Nouveau				
Ancien	Enrouleur	Couverture intégrale	Pivot basse pression	Goutte-à-goutte de surface	Goutte-à-goutte enterré
Enrouleur	10	10	5-20*	10-20*	15-35*
Couverture intégrale	–	10	5-20*	15-25*	20-25*
Pivot/rampe	–	–	5-10*	5-15	10-25
Goutte-à-goutte de surface	–	–	–	10-20	15-20
Goutte-à-goutte enterré	–	–	–	–	10-20

Arboriculture					
Économie d'eau (%)	Nouveau				
Ancien	Aspersion sur frondaison	Aspersion sous frondaison classique	Aspersion sur frondaison/microjet	Goutte-à-goutte de surface	Goutte-à-goutte enterré
Aspersion sur frondaison	10	10	15-30*	20-35	25-35*
Aspersion sous frondaison/microjet	–	–	10-20	15-25	15-30
Goutte-à-goutte de surface	–	–	–	10-20	5-15
Goutte-à-goutte enterré	–	–	–	–	10-20

Maraîchage de plein champ			
Économie d'eau (%)	Nouveau		
Ancien	Couverture intégrale	Mini-aspersion	Goutte-à-goutte de surface
Couverture intégrale	10	5-10*	5-15*
Mini-aspersion	–	10-20	10-30
Goutte-à-goutte de surface	–	–	10-20

\* Augmenter les valeurs hautes et basses des intervalles de + 5 en région ventée.

### Leviers technologiques

Un référentiel (tableau ❶) a été établi pour évaluer a priori les économies d'eau potentiellement réalisables en changeant de système d'irrigation, en se basant sur des références d'économies d'eau réalisées à la parcelle avec les divers systèmes d'irrigation sous pression (Serra-Wittling et Molle, 2017). Les références collectées couvrent une période de trente ans, sur un large éventail de cultures et de conditions pédoclimatiques du territoire métropolitain français. Les consommations d'eau ont été comparées entre deux systèmes d'irrigation différents (aspersion ou système localisé) dans le même contexte (même année, même sol, même culture). Dans ce tableau, les valeurs sur la diagonale concernent le renouvellement d'un système à l'identique, c'est-à-dire le remplacement d'un ancien système par un nouveau.

### Leviers de pilotage de l'irrigation

De la même manière, un référentiel des économies d'eau réalisables par l'adoption de sondes de sol (sondes capacitatives ou tensiomètres) ou de plante (dendromètre) a été établi (tableau ❷) à partir de consommations d'eau observées entre deux modes de pilotage (sans et avec sondes d'état hydrique du sol ou de la plante) dans le même contexte.

**Tableau ❷ – Économies d'eau potentiellement réalisables par l'acquisition et l'utilisation d'un matériel de pilotage (en comparaison d'une irrigation sans matériel de pilotage).**

Tensiomètres ou sondes capacitatives	Tensiomètres + dendromètres
Grandes cultures	
15-40	–
Arboriculture	
10-20	15-30
Maraîchage de plein champ	
15-40	–

Ces deux référentiels d'économies d'eau potentiellement réalisables, soit par un changement de système d'irrigation, soit par l'adoption de sondes de sol ou de plante pour le pilotage de l'irrigation, peuvent être utilisés pour évaluer ex ante les économies d'eau que l'on peut attendre lors de la modernisation d'installations d'irrigation. Ils peuvent également aider les politiques publiques à évaluer la réduction potentielle des prélèvements d'eau pour l'irrigation à l'échelle de la région ou du bassin. En

outre, ils peuvent fournir des informations aux institutions de financement et aux organismes de réglementation, comme l'Union européenne, afin d'orienter les subventions vers les équipements les plus pertinents en termes de potentiel d'économie d'eau.

### Ce qu'il faut retenir

Réaliser des économies d'eau en irrigation passe par la réduction des pertes en eau, c'est-à-dire par l'amélioration de l'efficacité de l'irrigation à la parcelle.

Améliorer l'efficacité à la parcelle se fait d'abord par les pratiques culturales, en particulier la gestion du sol, qui permet de mieux valoriser l'eau de pluie (et d'irrigation si nécessaire). Cependant, très peu de références sont encore disponibles sur les économies d'eau réalisables à travers ces pratiques.

Améliorer l'efficacité se fait ensuite par la modernisation des systèmes d'irrigation : changement de système et pilotage de l'irrigation. De nombreux progrès technologiques ont été réalisés pour concevoir des systèmes d'application de l'eau économes ; toutefois le potentiel d'économies d'eau est faible en années très sèches. Les outils de pilotage de l'irrigation sont relativement peu utilisés et de grandes marges de progrès existent encore ; de plus, ces outils permettent des économies d'eau élevées même en années sèches (Serra-Wittling *et al.*, 2020).

Afin de favoriser les économies d'eau en contexte de changement climatique, il est important d'inciter les investissements de matériels économes en eau, mais aussi les améliorations de pratiques d'irrigation dont le pilotage de l'irrigation. ■

## RÉFÉRENCES

- Alletto, L., Cueff, S., Bréchémier, J., Lachaussee, M., Derrouch, D., Page, A., Gleizes, B., Perrin, P., & Bustillo, V. (2022). Physical properties of soils under conservation agriculture : A multi-site experiment on five soil types in south-western France. *Geoderma*, 428, 116228. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.116228>
- Alliaume, F., Rossing, W., Tiftonell, P., & Dogliotti, S. (2017). Modelling soil tillage and mulching effects on soil water dynamics in raised-bed vegetable rotations. *European Journal Of Agronomy*, 82, 268-281. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.08.011>
- Bonachela, S., Orgaz, F., Villalobos, F. J., & Fereres, E. (2001). Soil evaporation from drip-irrigated olive orchards. *Irrigation Science*, 20(2), 65-71. <https://doi.org/10.1007/s002710000030>
- Alletto, L., Cueff, S., Bréchémier, J., Lachaussee, M., Derrouch, D., Page, A., Gleizes, B., Perrin, P., & Bustillo, V. (2022). Physical properties of soils under conservation agriculture : A multi-site experiment on five soil types in south-western France. *Geoderma*, 428, 116228. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.116228>
- Carrión, F., Montero, J., Tarjuelo, J., & Moreno, M. (2014). Design of Sprinkler Irrigation Subunit of Minimum Cost with Proper Operation. Application at Corn Crop in Spain. *Water Resources Management*, 28(14), 5073-5089. <https://doi.org/10.1007/s11269-014-0793-x>
- DATI project, PRIMA, (2021). <https://datiproject.eu/>
- FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations, (2015). *FAO Statistical Pocket Book. World, food and agriculture*. FAO, Rome. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/9a8e88e3-5814-49c9-b350-1d68a745ca6a/content>
- Gard, B., Goillon, C., Pierre, P. & Raynal, C. (2016). Culture de la courgette en zone vulnérable nitrate : outils de pilotage et stratégie de fertilisation. *Infos CTIFL*, 32, 47-56.
- Ghinassi, G., Pezzola, E. (2014, 13-16 juin). *Controlling sprinkler rotation speed to optimize water distribution uniformity of travelling rain guns*. [Conférence]. ASABE and CSBE/SCGAB Annual International Meeting, Montreal, Quebec Canada.
- Gleick, P. H. (2014). *The World's Water*. The Biennial Report on Freshwater Resources. Volume 8. Island Press Washington, DC. <https://doi.org/10.5822/978-1-61091-483-3>
- Howell, T.A. (2003). Irrigation Efficiency. Dans B. A. Stewart & T. A. Howell (dirs.), *Encyclopedia of Water Science* (pp. 467-472). Marcel Dekker, New York.
- Hsiao, T. C., Steduto, P., & Fereres, E. (2007). A systematic and quantitative approach to improve water use efficiency in agriculture. *Irrigation Science*, 25(3), 209-231. <https://doi.org/10.1007/s00271-007-0063-2>
- Jensen, M. E. (2007). Beyond irrigation efficiency. *Irrigation Science*, 25(3), 233-245. <https://doi.org/10.1007/s00271-007-0060-5>
- Leenhardt, D., Voltz, M., & Barreteau, O. (2020). *L'eau en milieu agricole : Outils et méthodes pour une gestion intégrée et territoriale*. Éditions Quæ, Versailles. <http://books.openedition.org/quæ/372151>
- Molle, B., Tomas, S., Hendawi, M., & Granier, J. (2011). Evaporation and wind drift losses during sprinkler irrigation influenced by droplet size distribution. *Irrigation and drainage*, 61(2), 240-250. <https://doi.org/10.1002/ird.648>
- Raza, A., Friedel, J. K., & Bodner, G. (2011). Improving Water Use Efficiency for Sustainable Agriculture. Dans E. Lichtfouse (dirs), *Agroecology and Strategies for Climate Change. Sustainable Agriculture Reviews* (pp. 167-211). Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-1905-7\\_8](https://doi.org/10.1007/978-94-007-1905-7_8)
- Richter, B., Brown, J. D., DiBenedetto, R., Gorsky, A., Keenan, E., Madray, C., Morris, M. C., Rowell, D. A., & Ryu, S. (2017). Opportunities for saving and reallocating agricultural water to alleviate water scarcity. *Water Policy*, 19(5), 886-907. <https://doi.org/10.2166/wp.2017.143>
- Seckler, D., Molden, D., & Sakthivadivel, R. (2003). The concept of efficiency in water-resources management and policy. Dans J. W. Kijne, R. Baker & D. Molden (dirs), *Water productivity in agriculture: limits and opportunities for improvement* (pp. 37-51). CABI Publishing eBooks. <https://doi.org/10.1079/9780851996691.0037>
- Serra-Wittling, C., & Molle, B. (2017). *Évaluation des économies d'eau à la parcelle réalisables par la modernisation des systèmes d'irrigation. Rapport d'étude réalisée avec le soutien du Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation*. IRSTEA. 149 p. <https://hal.inrae.fr/hal-02608073>
- Serra-Wittling, C., Molle, B., & Cheviron, B. (2020). Modernization of irrigation systems in France : what potential water savings at plot level? *Sciences Eaux & Territoires*, (34bis), 46-53. <https://doi.org/10.14758/set-revue.2020.4.09>
- Weber, J.J., & Granier J. (2012). Irrigation. Optimiser l'efficacité de l'eau du transport à l'application. *Perspectives Agricoles*, 387, 38-41.
- Zhao, W., Li, J., Yang, R., & Li, Y. (2017). Yields and water-saving effects of crops as affected by variable rate irrigation management based on soil water spatial variation (in Chinese, with English abstract). *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 33, 1-7.

## LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET L'EAU

*Cette deuxième partie aborde l'irrigation au prisme de la transition agroécologique : comment mieux valoriser le sol, comment accompagner les agriculteurs vers des pratiques agroéconomiques économes en eau.*

- 39 Utiliser les racines pour moduler les impacts des déficits en eau et améliorer la gestion de l'eau dans les agrosystèmes**  
*Claude DOUSSAN, Samuel LE GALL, Stéphane RUY, Annette BÉRARD*
- 43 L'eau dans les sols méditerranéens au coeur de la transition agroécologique**  
*Juan David DOMINGUEZ BOHORQUEZ*
- 49 Évaluation des performances des systèmes de cultures en agriculture de conservation des sols et du matériel d'irrigation**  
*Florine LACAZE, Élise AUDOUIN, Christophe BONILLO, Ludovic LHUISSIER*
- 59 Accompagnement des agriculteurs dans la transition agroécologique pour les économies d'eau**  
*Élise AUDOUIN, Anna ROCHWERGER, Florine LACAZE, Christophe BONILLO, Ludovic LHUISSIER*
- 67 Le projet CARG'EAU accompagne la transition des exploitations vers des systèmes résilients et économes en eau**  
*Fabienne GUYOT, Lauriane MOREL, Mireille BRUN, Benoit LOUCHARD, Rachel L'HELGOUALC'H*





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.

## Utiliser les racines pour moduler les impacts des déficits en eau et améliorer la gestion de l'eau dans les agrosystèmes

Claude DOUSSAN<sup>1</sup>, Samuel LE GALL<sup>2</sup>, Stéphane RUY<sup>1</sup>, Annette BÉRARD<sup>1</sup>

<sup>1</sup> UMR EMMAH, INRAE/Avignon Université, Avignon, France.

<sup>2</sup> Institut des bio- et géosciences (IBG-3), Forschungszentrum Jülich, 52428 Jülich, NRW, Allemagne.

Correspondance : Claude DOUSSAN, [claudedoussan@inrae.fr](mailto:claudedoussan@inrae.fr)

*Les plantes, au travers de leur système racinaire sont un acteur majeur dans l'évolution des propriétés biologiques, chimiques et physiques du sol qu'elles colonisent. Une forte partie de ces évolutions se déroule dans le sol proche des racines, la rhizosphère, zone dans laquelle les interactions racines/micro-organismes/sol sont intenses. Au travers de leurs travaux récents, les auteurs montrent que la rhizosphère est un levier de tolérance au déficit hydrique des cultures et que plus globalement, les systèmes racinaires peuvent être un outil pour la gestion de l'hydrologie des parcelles cultivées.*

### Plantes, microorganismes et sol interagissent au travers des racines

Le changement climatique à l'œuvre risque de se traduire non seulement par une augmentation de la température moyenne, mais également par un changement de régime des précipitations et une récurrence accrue d'épisodes intenses : sécheresses, pluies intenses (GIEC, 2021)<sup>1</sup>. Ces sécheresses, combinée à de plus fortes températures (voire canicules), provoquent un déficit hydrique des cultures, impactant le rendement ou la qualité (et pour partie à l'origine de la stagnation de rendements – Brisson *et al.*, 2010). Les réponses actuelles envisagées sont d'ordre technique (irrigation, ReUT<sup>2</sup>), génétique ou agronomique (variétés, diversité, densité, amendements...). D'un autre côté, des pluies plus intenses, suivant l'état de surface du sol, peuvent entraîner des périodes d'engorgement du sol, impactant les cultures mais aussi de plus forts ruissellements et des conséquences sur l'érosion et les crues/inondations (Qiu *et al.*, 2021). Ici également les réponses peuvent être d'ordre technique (en aménagement : bassins, drains...) ou de pratiques agronomiques (introduction de plantes de couvertures, bandes enherbées...). Dans ce panel de réponses et d'adaptions aux effets climatiques, la plante à travers son système racinaire est assez peu évoquée, bien que le système racinaire soit un acteur central des flux d'eau dans les agrosystèmes (Bengough, 2012). Si les propriétés du sol (physiques, chimiques ou micro-

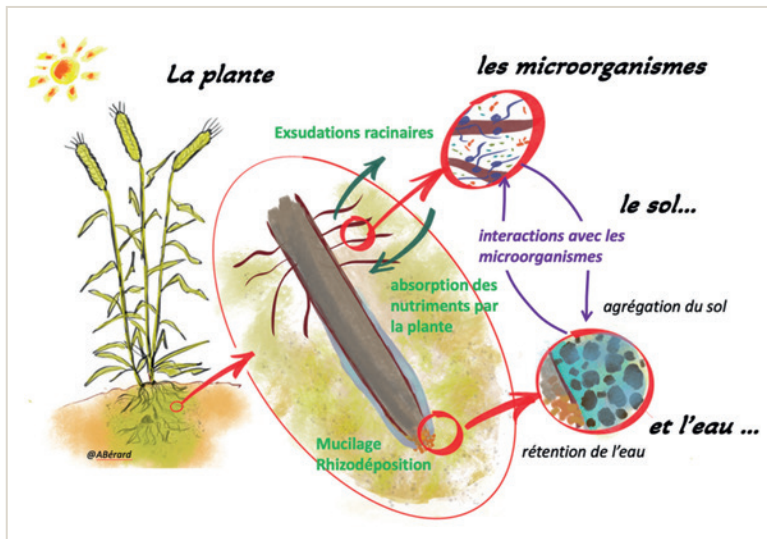
biologiques) sont généralement considérées pour leur impact sur les plantes (prélèvement hydrominéral, croissance et rendement), le fait qu'à l'inverse la plante agisse sur les propriétés du sol à travers son système racinaire, et ses conséquences écohydrologiques, est moins investigué. En effet, le système racinaire est un acteur biologique majeur dans l'évolution de la structure du sol et de ses propriétés physico-chimiques, soit par des effets directs, soit par des effets indirects. Les effets directs comprennent la perforation du sol avec un colmatage possible des macropores du sol créés pendant la croissance des racines, mais libérés à leur mort, le compactage éventuel du sol autour des pores induit par la croissance radiale des racines ainsi qu'une réorientation des particules du sol (Lu *et al.*, 2020). Les effets indirects sont majoritairement induits d'une part par les cycles secs-humides diurnes créés par l'absorption hydrique racinaire (effet « eau »), et d'autre part par le dépôt de matière organique issu des racines dans le sol (effet « carbone »). Ces « rhizodépôts » carbonés peuvent être du mucilage (mélange hydraté de grosses molécules polymériques), de molécules simples (types sucres, acides aminés), de cellules desquamées, des tissus racinaires en décomposition. Ces processus indirects se déroulent dans une zone de sol proche des racines, appelée la rhizosphère. La rhizosphère est définie comme la zone de sol autour des racines influencée par l'activité racinaire (figure 1).

1. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.
2. Réutilisation des eaux usées traitées.

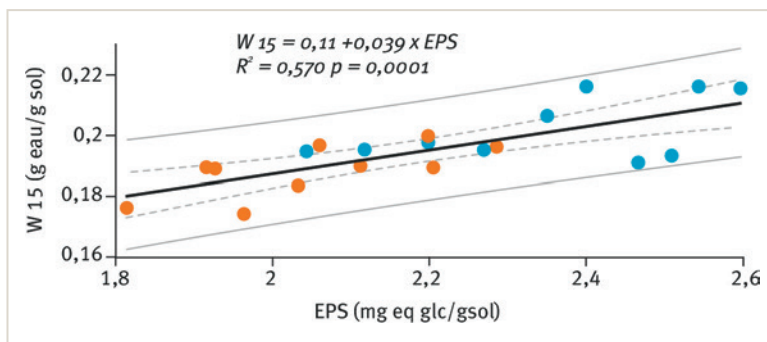
Dans cette zone de sol interagissent la plante, le sol, mais aussi les microorganismes associés au travers de relations trophiques et de communication chimique. La rhizosphère est donc un « hot spot » de l'activité microbologique et des processus métaboliques du sol (Hinsinger, 2009). Cette forte activité de la microflore est soutenue par l'apport des rhizodépôts, riches en carbone, qui vont être utilisés comme source d'énergie et de croissance pour les microorganismes. Dans le mucilage exsudé par les racines se trouvent majoritairement des exopolysaccharides (EPS), qui sont des polymères de sucres, plus ou moins complexes. Ces EPS sont également sécrétés par les microorganismes de la rhizosphère (à l'origine

des biofilms). Les effets « eau » et « carbone » peuvent induire à la fois une fissuration des macro-agrégats, mais également une coalescence des micro-agrégats, la résultante globale étant une modification de l'agrégation dans la rhizosphère, avec une modification de l'espace poral dans lequel l'eau peut circuler et se stocker par rapport au sol non rhizosphérique (Lu *et al.*, 2020). En plus de cette modification de la porosité, se superpose un effet physicochimique créé par les EPS. Ces polymères, peuvent fortement absorber l'eau (de 200 à 800 fois leur poids) et forment des hydrogels qui peuvent modifier la rétention de l'eau dans la rhizosphère (Le Gall *et al.*; 2021, Buchmann *et al.*, 2020). De plus, les EPS présentent aussi un caractère hydrophile ou hydrophobe suivant leur état d'hydratation susceptible de tamponner les variations de teneur en eau près des racines. Comme on voit ci-dessus, les racines peuvent avoir un effet global et local, rhizosphérique, sur le sol en lien avec ses propriétés hydriques et donc influencer la tolérance des plantes par rapport au déficit en eau. La section ci-dessous décrit quelques-uns de ces effets rhizosphériques sur le sol que nous avons étudiés et leur lien avec de la tolérance de la plante au déficit en eau.

**Figure 1** – L'effet rhizosphère du sol. L'effet rhizosphérique vis-à-vis de l'eau, implique la plante (à travers ses racines, leurs exsudations, rhizodéposition et absorption), les microorganismes (activités cataboliques, production de biomasse et d'exopolysaccharides), le sol (et ses propriétés physicochimiques et hydrophysiques).  
Source : A. Bérard.



**Figure 2** – Modification de la rétention en eau du sol par les EPS. Corrélation entre la quantité d'exopolysaccharides (EPS) dans le sol et rétention en eau de ce sol à 15 MPa. Les points en bleu représentent les échantillons de sol rhizosphérique (avec globalement plus d'EPS et une rétention plus élevée) et les points en orange représentent les échantillons de sol prélevés à l'extérieur des rangs de maïs (sol moyen) (avec globalement moins d'EPS et une rétention plus faible). Mesures réalisées à floraison (juillet ; Isère – Résultats non publiés. Doussan et Bérard, 2016).



### Quelques exemples de l'effet rhizosphérique sur le sol et sur la tolérance des plantes au déficit hydrique

#### Rhizosphère et propriétés du sol, un exemple au champ

À travers une expérimentation au champ avec une culture de maïs, nous avons pu mettre en évidence des liens entre propriétés biologiques, physico-chimiques et hydriques dans la rhizosphère du maïs (en la comparant au sol non rhizosphérique – « sol moyen ») : le sol prélevé adhérent aux racines (agrégats de quelques millimètres) montre une biomasse microbienne trois fois plus élevée que le sol moyen (prélevé entre les rangs), soulignant l'effet « hotspot » biologique. D'un point de vue physico-chimique, plus d'EPS sont également présents dans la rhizosphère (environ 20 % en plus) et d'un point de vue propriété hydraulique, les caractéristiques de rétention de l'eau sont changées dans la rhizosphère, avec une augmentation de l'ordre de 8 % de la rétention. Cet effet sur la rétention s'explique en partie par les teneurs en EPS du sol variant du sol moyen au sol rhizosphérique (figure 2). Enfin, dans la rhizosphère du maïs, on montre également que les communautés microbiennes du sol ont une résistance plus élevée face à un stress climatique de sécheresse et température élevées par rapport au sol moyen (données non montrées ici).

#### Rhizosphère et réponse de la plante vis-à-vis du déficit hydrique

Si un effet rhizosphérique se fait effectivement sentir au niveau des caractéristiques microbiologiques mais aussi des propriétés hydrauliques du sol rhizosphérique, qu'en est-il d'un impact possible sur les relations hydriques de la plante et de sa réaction vis-à-vis d'un déficit en eau ? Nous présentons ci-dessous deux exemples, en laboratoire et au champ, qui montrent que l'effet rhizosphérique peut se traduire à travers un effet sur l'utilisation de l'eau par la plante.

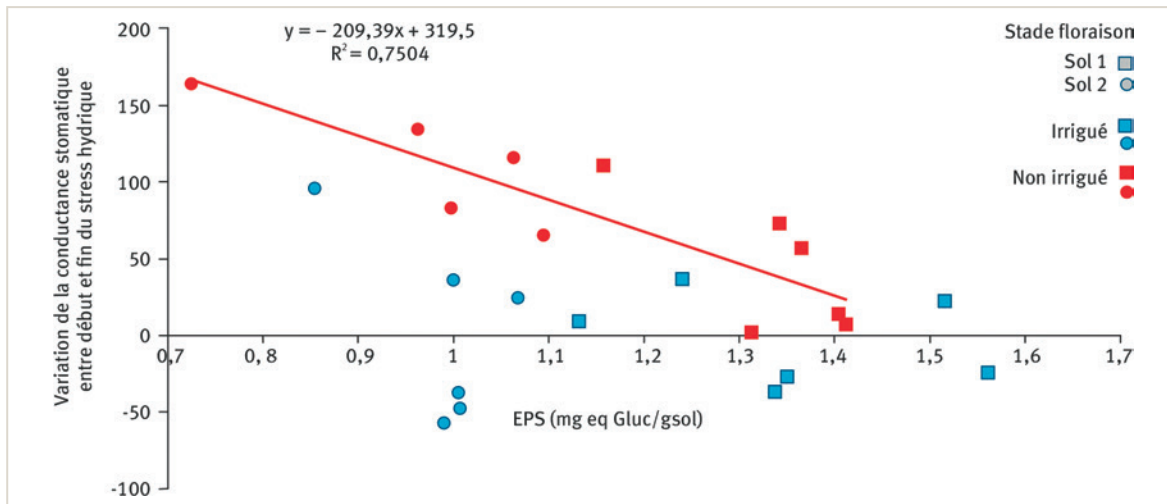
### Exopolysaccharides et transpiration

Le premier exemple s'appuie sur une expérimentation en pot en conditions contrôlées avec différentes variétés de blé contrastées (selon leur date d'inscription au catalogue officiel et leur réponse aux micro-organismes de la rhizosphère), cultivées sur deux types de sol. Une limitation en eau est imposée à la fin du stade végétatif sur une partie des plantes, tandis que l'autre est en confort hydrique. De cet essai, il ressort une relation entre EPS et réaction de la plante au déficit en eau (vu par la variation de conductance stomatique lors de l'épisode de déficit hydrique) des différentes variétés de blé : la variation de conductance stomatique apparaît amortie (signifiant moins de régulation stomatique de la plante) quand la quantité d'EPS est plus élevée dans le sol rhizosphérique. Cette quantité d'EPS varie à la fois suivant les variétés de blé et le type de sol (figure 3).

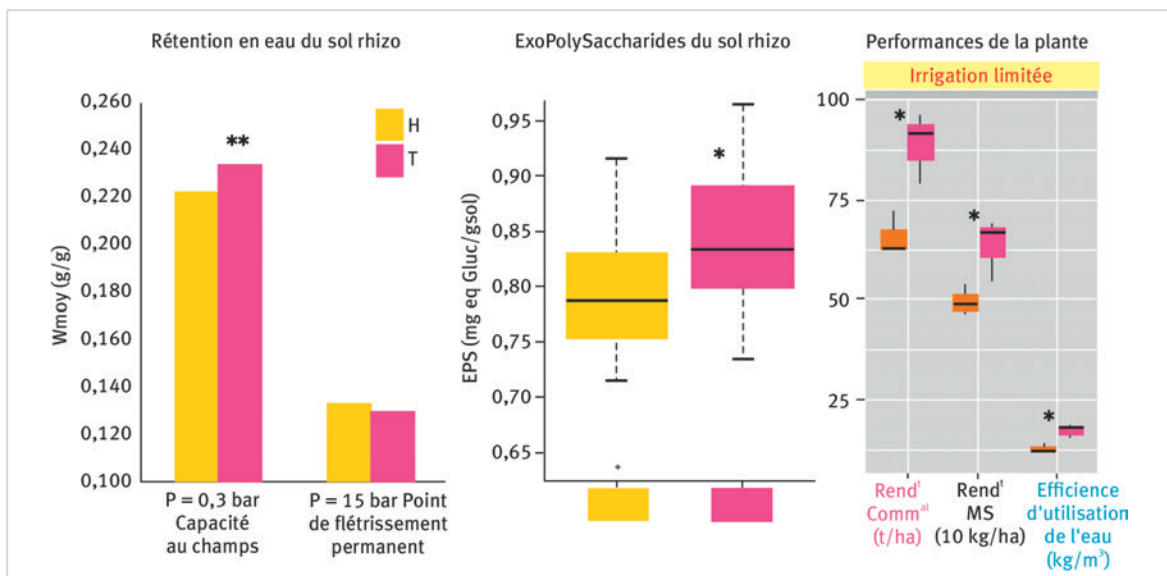
### Rhizosphère et efficacité d'utilisation de l'eau

Le deuxième exemple s'appuie sur un essai variétal de tomates industrielles au champ. Nous avons étudié ici dans quelle mesure l'activité microbologique et les EPS de la rhizosphère pouvaient améliorer les propriétés hydrophysiques du sol en condition de déficit hydrique sur deux variétés de tomates. La quantité d'EPS, ainsi que les activités des micro-organismes (champignons en particulier) expliquent en partie les variations mesurées de rétention d'eau du sol. De plus, ces mécanismes sont significativement plus développés pour l'un des cultivars, qui présente également les meilleures capacités productives en condition de déficit hydrique mais également d'efficacité d'utilisation de l'eau (figure 4, Le Gall *et al.*, 2021).

**Figure 3** – Variation de conductance stomatique et exopolysaccharides en déficit hydrique. Corrélation (inverse) entre la chute de conductance stomatique (et donc de transpiration) au cours de la sécheresse et la quantité d'exopolysaccharides (EPS) de la rhizosphère pour différentes variétés de blé. Carrés = sol limoneux, cercles = sol argileux. Mesures réalisées sur blé en serre, au stade floraison (Bérard *et al.*, 2018).



**Figure 4** – Effet rhizosphère et efficacité d'utilisation de l'eau pour de la culture de tomate au champ. Comparaison de deux variétés de tomates Terradou (T) et H1015 (H) au stade fructification, soumises à un déficit hydrique au champ. Mesures de points caractéristiques de rétention en eau et d'exopolysaccharides (EPS) du sol rhizosphérique et données finales de rendement commercial, rendement en matière sèche et efficacité d'utilisation de l'eau. Seuils de signification : \* p ≤ 5%, \*\* p ≤ 1% (modifié de Le Gall *et al.*, 2021).



### Pour aller plus loin dans l'exploitation d'un effet racinaire sur les propriétés du sol et l'utilisation de l'eau par les cultures

À travers ces exemples présentés ci-dessus, se dessine une possibilité de tolérance des plantes au déficit en eau du sol en lien avec une variation des propriétés du sol dans la rhizosphère. Cet effet pourrait passer par des effets plus ou moins directs : production d'EPS dans la rhizosphère, modification des propriétés de rétention du sol et d'activité microbienne. Suivant les espèces/variétés, mais aussi le type de sol, des effets plus ou moins forts sont visibles sur la régulation stomatique et l'efficacité d'utilisation de l'eau. Au travers de ce constat, en élargissant le propos au cadre des solutions fondées sur la nature, on peut se poser la question de savoir si les racines et leur rhizosphère peuvent être un levier dans l'amélioration de la gestion de l'eau dans les agrosystèmes ? Nous proposons dans un premier temps d'explorer cette question, à l'échelle de la plante, (a) en identifiant l'influence de différents types de sol et (b) en caractérisant les « traits rhizosphériques » d'espèces

(ou de génotypes) variés et d'aborder ainsi la notion de « phénotypage souterrain étendu ». Dans un deuxième temps et dans un cadre plus large à l'échelle des systèmes de culture, l'effet « racines » sur le sol ouvre une piste de recherche sur la possibilité de préparer/faire évoluer le sol par la diversification des cultures (agroforesterie, agriculture de conservation, mélanges et cultures intermédiaires...). Cet effet racine, de l'échelle du segment racinaire à celle du profil racinaire (qui peut être profond avec des arbres, par exemple) peut provoquer une évolution globale de la porosité du sol, des propriétés de rétention et stockage de l'eau mais aussi de son transfert dans le sol, avec des implications non seulement sur l'alimentation hydrique des plantes mais également sur le partage infiltration/ruissellement ou le drainage et la recharge des nappes. Un tel effet a d'ailleurs déjà été mesuré sur le réservoir utilisable du sol (RU) dans une rotation prairie/céréales ; la rotation présentant un RU plus fort de 10 à 20 mm par rapport à une culture continue en céréales ou à une prairie permanente (Doussan *et al.*, 2015). ■

### RÉFÉRENCES

- Bengough, A. (2012). Water Dynamics of the Root Zone : Rhizosphere Biophysics and Its Control on Soil Hydrology. *Vadose Zone Journal*, 11(2). <https://doi.org/10.2136/vzj2011.0111>
- Bérard, A., Doussan, C., Guix, N., & Le Gouis, J. (2018). RhyzoPhyMic : Les interactions physiques et biologiques dans la rhizosphère : un rôle à jouer dans la régulation de stockage et fourniture d'eau du sol ? Application à la tolérance aux sécheresses de la microflore et des plantes. Rapport/bilan pour le métaprogramme EcoServ.
- Brisson, N., Gate, P., Gouache, D., Charmet, G., Oury, F., & Huard, F. (2010). Why are wheat yields stagnating in Europe? A comprehensive data analysis for France. *Field Crops Research*, 119(1), 201-212. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.07.012>
- Buchmann, C., Steinmetz, Z., Brax, M., Peth, S., & Schaumann, G. E. (2020). Effect of matric potential and soil-water-hydrogel interactions on biohydrogel-induced soil microstructural stability. *Geoderma*, 362, 114142. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.114142>
- Doussan, C., Seger, M., Chabbi, A., Charrier, X., Giot, G., Renard, D., & Cousin, I. (2015). *RURac. Mise en évidence de l'évolution temporelle de la Réserve Utile des sols sous l'action des racines : Une première pierre dans une optique de gestion des propriétés hydriques du sol par gestion de la végétation et de son enracinement*. Rapport Pari Scientifique INRA - EA. 20 p. <https://hal.inrae.fr/hal-02800494>
- GIEC. (2021). *Changement climatique 2021. Les bases scientifiques physiques. Résumé à l'intention des décideurs*, 35 p. <https://www.unep.org/fr/resources/rapport/changement-climatique-2021-la-base-des-sciences-physiques-la-contribution-du>
- Hinsinger, P., Bengough, A. G., Vetterlein, D., & Young, I. M. (2009). Rhizosphere : biophysics, biogeochemistry and ecological relevance. *Plant And Soil*, 321(1-2), 117-152. <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9885-9>
- Le Gall, S., Bérard, A., Page, D., Lanoe, L., Bertin, N., & Doussan, C. (2021). Increased exopolysaccharide production and microbial activity affect soil water retention and field performance of tomato under water deficit. *Rhizosphere*, 19, 100408. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2021.100408>
- Lu, J., Zhang, Q., Werner, A. D., Li, Y., Jiang, S., & Tan, Z. (2020). Root-induced changes of soil hydraulic properties – A review. *Journal Of Hydrology*, 589, 125203. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125203>
- Qiu, J., Shen, Z., Leng, G., & Wei, G. (2021). Synergistic effect of drought and rainfall events of different patterns on watershed systems. *Scientific Reports*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-97574-z>



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<sup>1,2</sup>

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

<sup>2</sup> 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](mailto: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)<sup>1</sup>. 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)

### 2. Gestion de l'eau, acteurs, usages.

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-EAU<sup>2</sup> (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-

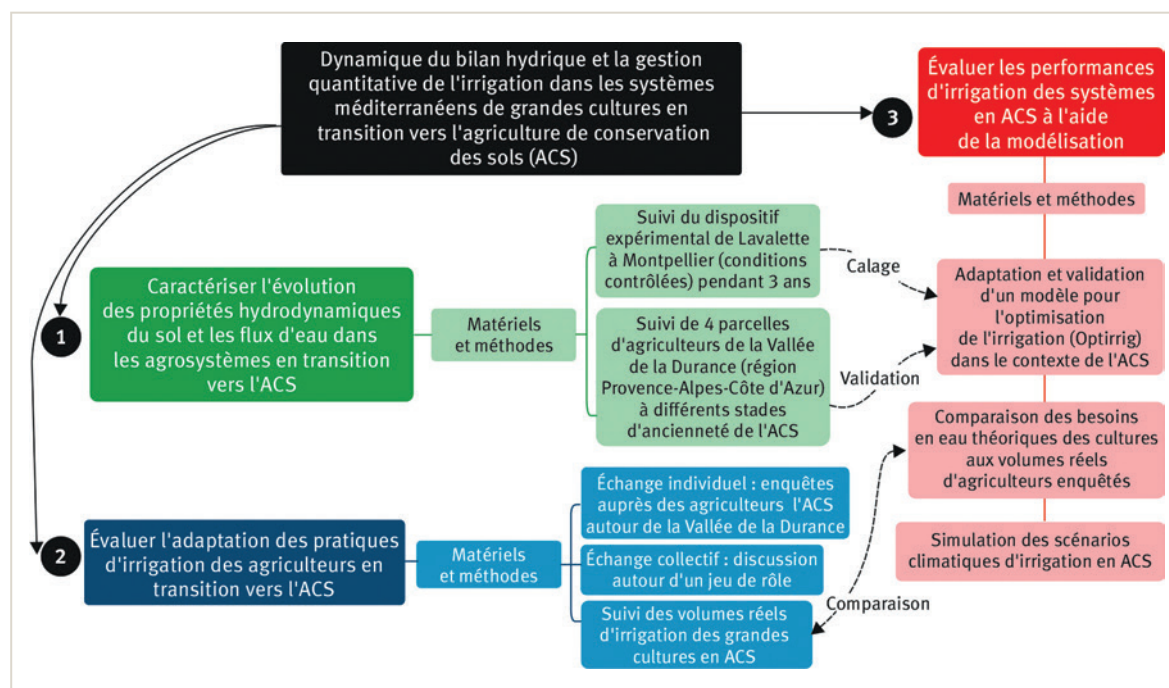
tion vers l'ACS et son influence sur la gestion de l'irrigation. Pour compléter les données issues des enquêtes, des échanges collectifs avec les agriculteurs sont encouragés, notamment à travers un jeu de rôle sérieux appelé « Sol en scène », élaboré en collaboration avec Lisode, une société coopérative 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 ❶ 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

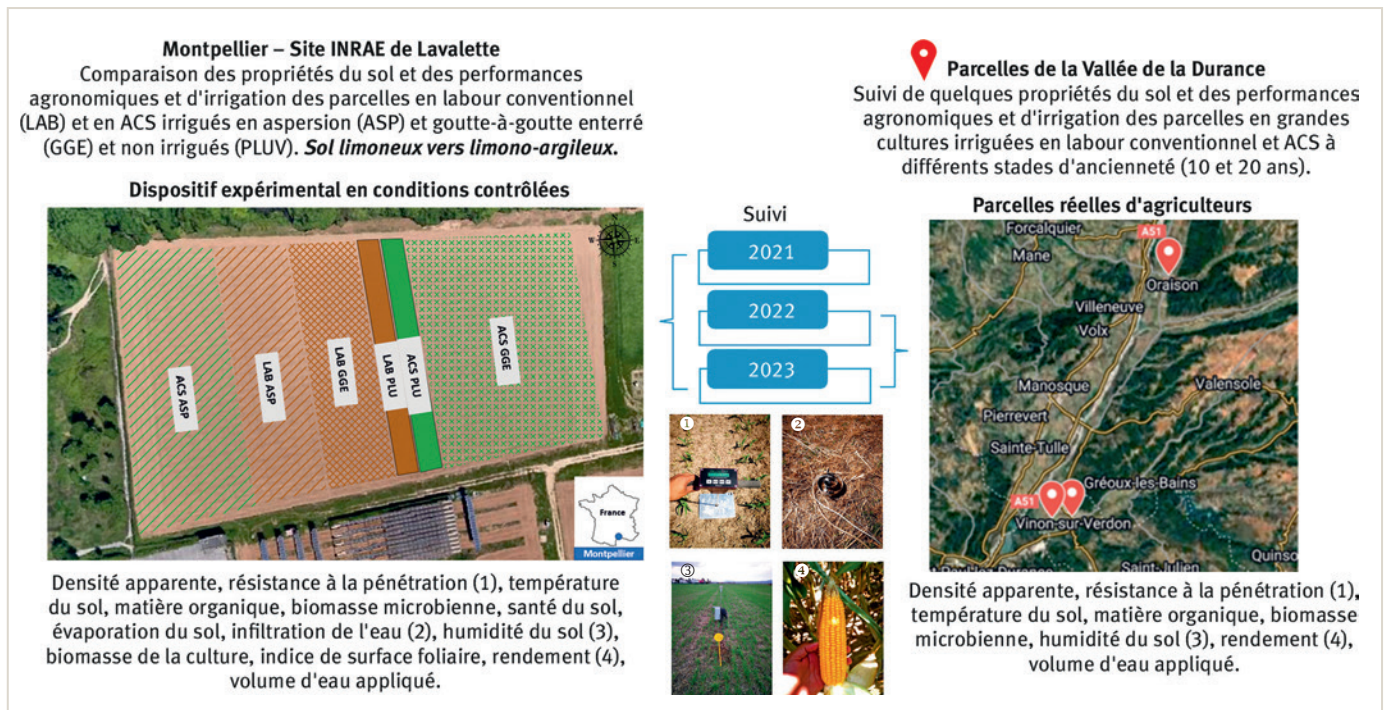
#### Site expérimental Lavalette : effets à court terme de l'ACS

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 ❶).

**Tableau ❶ – 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 ❷ – 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-

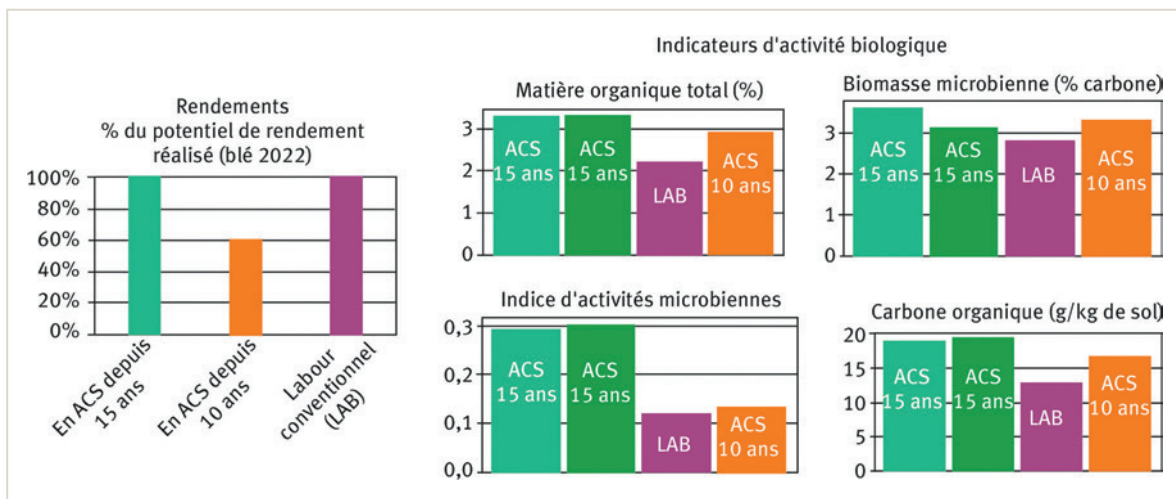
tivité biologique accrue en surface, contrastées à celle en labour conventionnel, où les indicateurs d'activité biologique sont plus faibles.

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.

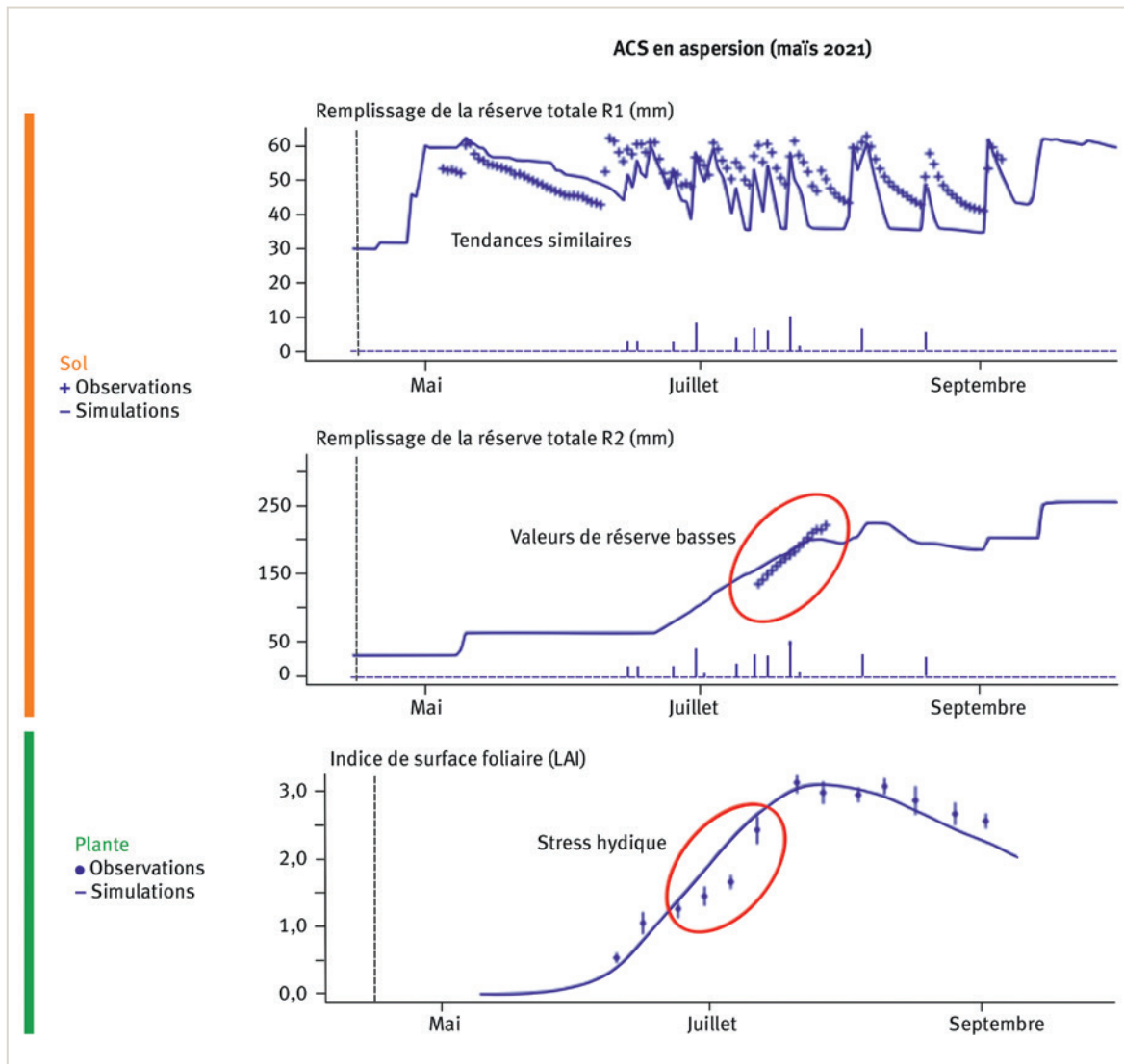
**Objectif 3 : évaluer les performances d'irrigation des systèmes en ACS à l'aide de la modélisation**

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/>
- Cheviron, B., Serra-Wittling, C., Dominguez-Bohorquez, J., Molle, B., Lo, M., Elamri, Y., & Delmas, M. (2020). Efficiency and optimisation of the 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., Cheviron, 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](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](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](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>



## Évaluation des performances des systèmes de cultures en agriculture de conservation des sols et du matériel d'irrigation

Florine LACAZE<sup>1</sup>, Élise AUDOUIN<sup>1</sup>, Christophe BONILLO<sup>1</sup>, Ludovic LHUISSIER<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Rives & Eaux du Sud-Ouest (ex CACG), 65000 Tarbes, France.

Correspondance : Florine LACAZE, [f.lacaze@riveseteaux.fr](mailto:f.lacaze@riveseteaux.fr)

*Le projet TASCII, Transition agroécologique des systèmes de cultures irrigués innovants, a pour ambitions de tester, de caractériser et d'évaluer l'agriculture de conservation des sols (ACS) en transition agroécologique dans le contexte de l'agriculture irriguée du Gers. Le projet s'appuie sur les pratiques d'ACS ainsi que sur différentes modalités de gestion et de matériel d'irrigation. Dans cet article, la performance du matériel d'irrigation (goutte à goutte enterré, couverture intégrale et canon enrouleur), les performances environnementales, socio-économiques et l'état hydrique de la plante et du sol sont étudiés.*

### Introduction

Le territoire du Gers est considéré comme l'un des plus sensibles à l'érosion hydrique des sols (BRGM, 2010; GIS Sol, 2011). Ce phénomène est amplifié par les pratiques culturales conventionnelles dominantes, qui impliquent un travail du sol (labour notamment) et l'absence de couverture végétale du sol durant l'hiver. Le Gers étant un département vallonné, les zones de coteaux pentues amplifient le ruissellement et l'érosion des sols, ce qui a notamment pour impact une baisse de la fertilité des sols.

Des systèmes de culture visent à pallier cette problématique et sont basés sur l'agriculture de conservation des sols (ACS).

La conduite de cultures irriguées en ACS s'est développée depuis 2017 sur la ferme expérimentale de La Mirandette à Masseube (Gers) suite aux conclusions du projet EDEN<sup>1</sup> qui portait lui sur les économies d'eau basées sur le matériel d'irrigation seul. Un nouveau projet a été formulé dans l'optique d'explorer également les économies d'eau en lien avec le compartiment sol et le changement de pratiques culturales: le projet pilote TASCII – Transition agroécologique des systèmes de cultures irrigués innovants, financé par l'Agence de l'eau Adour-Garonne (AEAG) de 2020 à 2025 et par la Région Occitanie de 2020 à 2023.

### Table des sigles

ACS	Agriculture de conservation des sols
AEAG	Agence de l'eau Adour Garonne
AP	Agriculteurs pilotes
ASP	Aspersion
CA	Chiffre d'affaire
CACG	Compagnie d'aménagement des coteaux de Gascogne
CE	Canon enrouleur
CI	Couverture intégrale
CO	Charges opérationnelles
CV	Couvert végétal
EDEN	Entrepôts de données spatiales au service de l'évaluation des performances énergétiques des entreprises agricoles
ETP	Évapotranspiration potentielle
GES	Gaz à effet de serre
GGE	Goutte-à-goutte enterré
GR	Gaine rigide
GS	Gaine souple
INRAE	Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement
MB	Marge brute
SAU	Surface agricole utile
SCII	Système de culture irrigué innovant
SCV	Semis direct sous couvert végétal
SD	Semis direct
SdC	Système de culture
TASCII	Transition agroécologique des systèmes de culture irrigués innovants
TCS	Techniques culturales simplifiées

1. EDEN : Entrepôts de données spatiales au service de l'évaluation des performances énergétiques des entreprises agricoles.

Le projet TASCII vise à contribuer à la transition agro-écologique des systèmes conventionnels dominants en grandes cultures irriguées, en vue d'une gestion durable des ressources en eau et en sol et ce, sans compromettre significativement les rendements des cultures et donc, la viabilité des exploitations agricoles. Il s'appuie, d'une part, sur les pratiques d'ACS et, d'autre part, sur la gestion et le matériel d'irrigation. La transition des systèmes de culture irrigués envisagée dans le cadre du projet pilote s'intéresse, en particulier, aux critères suivants :

- l'économie d'eau d'irrigation et d'énergie consommée;
- la conservation du sol et la restauration de sa fertilité;
- la performance socioéconomique des systèmes de culture irrigués;
- la réduction progressive et « significative » de l'utilisation des produits phytosanitaires de synthèse.

Dans cet article, la performance agro-technique du matériel d'irrigation, les performances environnementales, socioéconomiques et les dynamiques hydriques sol-plante seront étudiées.

Dans la suite de l'article, par soucis de simplification, nous utiliserons le terme de semis direct (SD) à la place d'ACS dans l'appellation des parcelles.

## Matériels et méthodes

### Description de la zone d'étude

Les sols gersoises sont de type Luvisols (ou Boulbène). Le climat est influencé par le régime océanique qui est dominant (temps doux et humide) et le régime méditerranéen qui provoque des pluies torrentielles.

Le Gers compte 6 680 exploitations agricoles et totalise une surface agricole utile (SAU) de 448 499 ha (DRAAF Occitanie<sup>2</sup>, d'après RA2020<sup>3</sup>; Agreste, 2023). L'agriculture dans le Gers est caractérisée par la production de céréales qui représente 37,6% de la SAU du Gers (DRAAF Occitanie, d'après RA2020; Agreste, 2023).

Vient ensuite la production d'oléagineux et protéagineux (28,2% de la SAU, DRAAF Occitanie, d'après RA2020; Agreste, 2023). Le Gers est ainsi le premier producteur de tournesol et de soja en France. On retrouve aussi dans le département l'élevage de volailles (14% des exploitations agricoles) et de bovins viandes (21% des exploitations agricoles) même si un net recul du cheptel de bovins allaitants est noté, de l'ordre de -24,7% du total UGB (unité gros bétail) entre 2010 et 2020 (DRAAF Occitanie, d'après RA2020; Agreste, 2023).

Environ 23% de la SAU totale du département est irrigable et 16% de la SAU totale est irriguée. 70 764 ha ont été irrigués en 2020 (DRAAF Occitanie, 2022; d'après RA2020) dont 37 497 ha de maïs grain. Cela représente une augmentation de 10% par rapport aux données du RA 2010. Les cultures de maïs grain et de soja représentent à elles seules 77% de la superficie irriguée du département (respectivement 53% et 24% – DRAAF Occitanie, 2022; d'après RA2020).

Le volet expérimental du projet TASCII est situé sur la ferme expérimentale de la Mirandette (Gers) et chez des agriculteurs représentatifs de l'agriculture gersoise, les agriculteurs pilotes (AP), c'est-à-dire des polyculteurs-céréaliers qui irriguent principalement la culture de maïs grain, maïs semence, soja. Ces agriculteurs ont pour système de référence soit le labour, soit les techniques culturales simplifiées (TCS). Les AP sont donc représentatifs de la zone d'étude.

### Dispositif expérimental

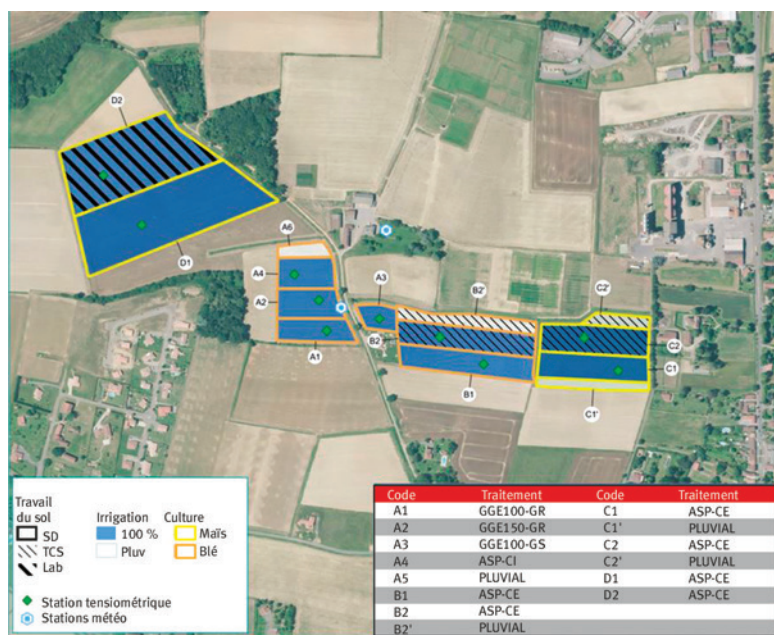
Les essais portent sur vingt-quatre systèmes de culture avec différentes modalités de travail du sol (ACS en SD, TCS en rotation et couvert végétal, labour avec et sans couvert végétal) et différentes modalités d'irrigation (enrouleur, aspersion, goutte-à-goutte et pluvial). Les suivis sont menés à la Mirandette et chez les AP localisés dans un rayon de vingt kilomètres autour de la station expérimentale. Le projet a adopté une approche système à l'instar des travaux de Giuliano *et al.* (2021), c'est-à-dire que pour chaque parcelle, des objectifs particuliers sont fixés. Une approche participative a été développée pour amener chaque agriculteur à définir ses objectifs, ses systèmes de culture et ses indicateurs de suivi (Audouin *et al.*, 2024). Le système de culture est conçu pour répondre au mieux à ses propres objectifs. Un temps dédié au suivi et à l'adaptation des systèmes est proposé une ou plusieurs fois par campagne. Plusieurs facteurs peuvent varier d'un système de culture à l'autre, ce qui différencie cette approche systémique d'une approche factorielle dans laquelle un faible nombre de facteurs varie afin de faciliter la comparaison. L'approche factorielle a alors le défaut de défavoriser un ou plusieurs systèmes qui ne seront pas dans des conditions optimales (date de semis, variété, etc.).

Les caractéristiques des différentes parcelles et systèmes de culture étudiés sont présentées dans le tableau 1.

Les rotations culturales mises en place sur les îlots A, B et C (répétition climatique = décalage de la rotation d'un an avec l'îlot B) sont les suivantes : îlots A : maïs-soja-blé-maïs ; îlots B et C : maïs-soja-maïs-blé.

Concernant l'îlot D, les parcelles sont conduites en monoculture de maïs. Le parcellaire expérimental est présenté sur la figure 1.

Figure 1 – Parcellaire expérimental de la Mirandette – campagne 2022.



2. Direction régionale de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt Occitanie.

3. Recensement agricole 2020.

Chez les AP, un couple de parcelles (témoin vs SCII = système de culture irrigué innovant) est suivi et comparé. Deux agriculteurs sont en monoculture de maïs, un en rotation maïs-soja-blé-orge et les derniers, rotation à majorité maïs, avec du blé.

### Mesures expérimentales

Les principales mesures, dont les résultats sont présentés dans cet article, portent sur les performances des systèmes d'irrigation (goutte-à-goutte enterré, couverture intégrale et canon enrouleur), les performances environnementales, socio-économiques et sur le comportement hydrique des sols et le confort hydrique des cultures.

### Indicateurs de comparaison des matériels d'irrigation

L'étude du système d'irrigation ainsi que des consommations en eau des différents systèmes de cultures a été réalisée par la comparaison des parcelles sur la base de la productivité supplémentaire de l'eau d'irrigation (PSEI) calculée sur les parcelles de la Mirandette (surplus de rendement par unité de volume d'eau d'irrigation). La productivité de l'eau totale PET ((rendement total par unité de volume d'eau reçu par la parcelle – pluie et irrigation) a également été étudiée.

Ces deux indicateurs de l'efficacité de l'utilisation de l'eau sont calculés de la manière suivante :

– la productivité de l'eau totale (PET) : elle rend compte de la valorisation de l'eau totale reçue par la parcelle (pluie + irrigation). La PET est calculée comme suit :

$$PET = \frac{\text{rendement total}}{\text{volume d'eau total reçu par la parcelle}}$$

*PET exprimé en kg/m<sup>3</sup> d'eau, rendement de la culture principale et du couvert exprimé en kg de matière sèche, volume d'eau total (pluie + irrigation) exprimé en m<sup>3</sup>;*

– la productivité du surplus de rendement permis par l'irrigation (PSEI) : elle correspond au surplus de rendement par unité de volume d'eau d'irrigation appliqué et donc au différentiel de rendement entre la parcelle irriguée et son témoin pluvial. L'indicateur est calculé pour les parcelles de la Mirandette exclusivement.

$$PSEI = \frac{\text{surplus de rendement}}{\text{volume d'irrigation apporté}}$$

*PSEI exprimé en kg/m<sup>3</sup> d'eau d'irrigation, surplus de rendement correspond à la différence entre le rendement de la parcelle irriguée et pluviale, exprimé en kg volume d'irrigation en m<sup>3</sup>.*

### Fertilité et vie du sol

L'indicateur de l'activité biologique des sols décrit dans cet article est la densité de vers de terre, dont les mesures ont été réalisées lors des campagnes de 2021 et 2022. En effet, la densité de vers de terre indique le niveau de développement de la vie biologique du sol. En 2021, le protocole moutarde<sup>4</sup> a été utilisé. Un changement de la méthodologie de référence nous a menés à remplacer cette mesure par le test bêche à partir de 2022. Cette

méthode consiste à prélever quatre blocs de sol par parcelle, en diagonale. Chacun des blocs est ensuite cassé en mottes sur une bêche, jusqu'à ce que les agrégats soient inférieurs à 1 cm. Les vers de terre présents sont dénombrés, pesés et identifiés.

### Confort des plantes et suivi de la tension en eau des sols

Des sondes tensiométriques sont installées sur les différentes parcelles suivies. Les sondes sont de type Watermark. Trois sondes sont installées à 30 cm de profondeur et trois autres à 60 cm afin de consolider les données mesurées et d'obtenir une représentativité de la mesure. Les tensions sont mesurées en temps réel et consultables sur un espace web.

La mesure de la conductance stomatique des cultures est réalisée grâce au poromètre AP4 (Delta T services). Cet appareil mesure la transpiration et la conductance stomatique, c'est-à-dire la quantité d'eau qui se dégage des stomates, l'humidité de l'air dans la chambre de mesure. La mesure obtenue est une conductance stomatique exprimée en cm/siemens. Le suivi est réalisé de manière hebdomadaire. Les conditions météorologiques et la proximité de la dernière irrigation opérée lors de la mesure sont notées, de même que l'ETP (évapotranspiration potentielle) transmis par la station météo.

Une série de dix à quinze mesures est réalisée à chaque date pour chacune des parcelles afin que la moyenne obtenue soit représentative de la parcelle.

Tableau 1 – Descriptif des systèmes de culture suivis (Mirandette).

N° parcelle	Superficie (ha)	Travail du sol	Rotation	Couvert végétal	Type d'irrigation
<b>Étude 1 : Efficacité comparée du goutte-à-goutte enterré par rapport à l'aspersion en couverture intégrale en ACS</b>					
<b>Îlot A</b>					
A1	0,45	SD	Oui	Oui	GGE graines rigides (GR) tous les 100 cm
A2	0,51	SD	Oui	Oui	GGE graines rigides (GR) tous les 150 cm
A3	0,24	SD	Oui	Oui	GGE graines souples (GS) tous les 100 cm
A4	0,47	SD	Oui	Oui	ASP-CI
A6	0,19	SD	Oui	Oui	Témoin non irrigué (haut de versant)
<b>Étude 2 : Comparaison de deux intensités de non-travail du sol avec irrigation au canon enrouleur</b>					
<b>Îlot B : Répétition climatique (décalage d'un an dans la rotation) de l'îlot C</b>					
B2'	0,47	TCS	Oui	Oui	Témoin non irrigué
B2	0,85	TCS	Oui	Oui	ASP-CE
B1	0,86	SD	Oui	Oui	ASP-CE
<b>Îlot C : Répétition climatique (décalage d'un an dans la rotation) de l'îlot B</b>					
C2'	0,20	TCS	Oui	Oui	Témoin non irrigué (bas de versant)
C2	0,81	TCS	Oui	Oui	ASP-CE
C1	0,77	SD	Oui	Oui	ASP-CE
C1'	0,27	SD	Oui	Oui	Témoin non irrigué (bas de versant)
<b>Îlot D</b>					
D1	2,93	SD	Non	Oui	ASP-CE
D2	2,37	Labour	Non	Non	ASP-CE

ACS : agriculture de conservation des sols ; SD : semis direct ; GGE : goutte-à-goutte enterré ; TCS : techniques culturales simplifiées ; ASP-CI : aspersion-couverture intégrale ; ASP-CE : aspersion-canon enrouleur.

4. Le protocole moutarde consiste à arroser, d'un mélange d'eau et de moutarde, trois zones d'1 m<sup>2</sup> chacune. La molécule irritante contenue dans la moutarde permet de faire remonter en surface les vers de terre présents.

### Évaluation multicritère

L'analyse multicritère des différents systèmes de culture se base sur les différents itinéraires techniques opérés qui sont capitalisés puis renseignés sur le logiciel Systerre®. Ce logiciel permet de calculer une vingtaine d'indicateurs techniques, environnementaux, économiques et sociaux. Pour cela, il est aussi nécessaire de récupérer les prix des intrants utilisés (fertilisants, produits phytosanitaires, semences, etc.), prix de vente de la récolte de la culture principale, les frais de séchage liés à l'humidité de la récolte. À chaque opération culturale est associée un matériel agricole (le tracté et le tractant). Les informations sur la puissance du tracteur par exemple, le débit de chantier, coût d'achat (neuf ou occasion), main d'œuvre associée, etc. sont renseignées pour chaque AP chez lequel l'essai est mené. Les opérations culturales, la puissance des tracteurs utilisés, et notamment les produits utilisés peuvent différer d'une parcelle à l'autre.

### Résultats et discussion

Les quatre années d'expérimentation du projet pilote TASCII (2019-2022) ont permis de réaliser une première analyse et évaluation des performances des systèmes de culture en SD en comparaison à leurs témoins en TCS ou labour, et d'étudier les performances des différents systèmes d'irrigation testés sur la ferme expérimentale. Les résultats liés au confort hydrique des cultures et à la tension en eau des sols ne sont présentés que pour l'année 2022.

#### Performance des systèmes en SD (résultat de l'année 2022) en lien avec le confort hydrique

##### Suivi de la tension en eau des sols

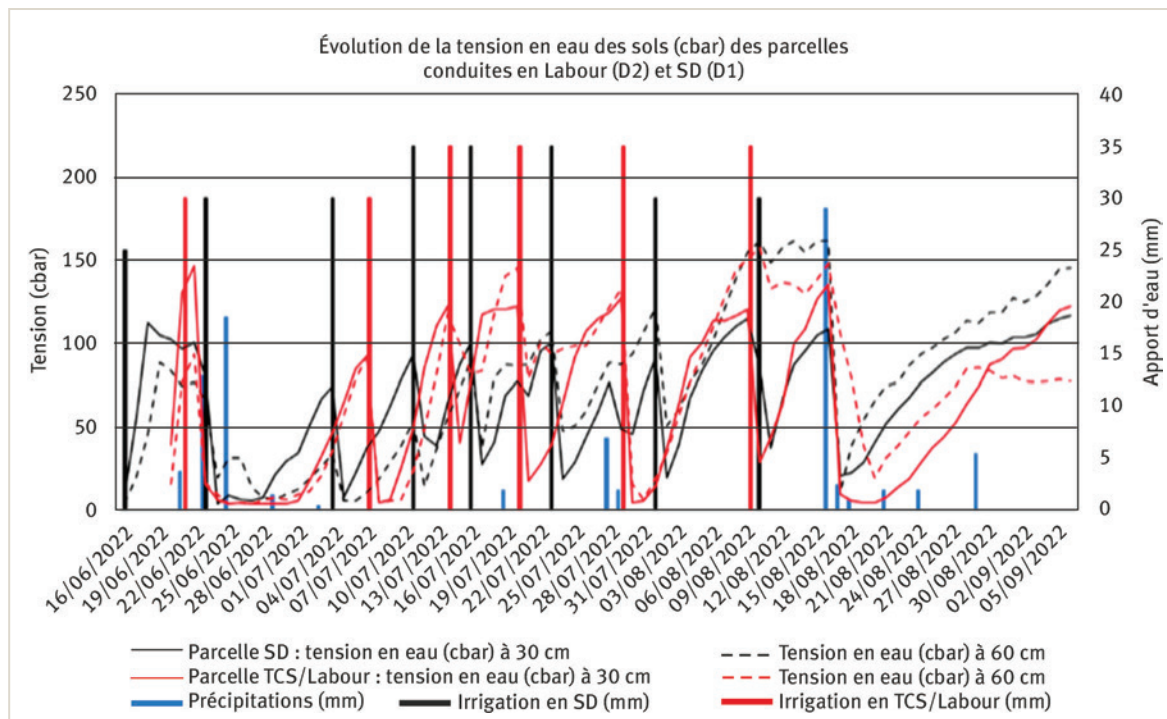
Le suivi de la tension en eau des sols à 30 et 60 cm de profondeur sur l'ilot D (figure 6), où le contraste entre les systèmes de culture est le plus fort (comparaison SD

à du labour) et où l'irrigation a été différenciée, montre que la tension en eau du sol à 30 cm de profondeur est souvent plus importante sur la parcelle en labour (figure 6). Il est important de noter que l'irrigation en SD a été plus importante (un tour d'eau supplémentaire) et a commencé plus tôt qu'en labour (quinze jours avant) en raison de la présence du couvert, implanté sur une longue période, qui a consommé de l'eau pour son développement. Cet apport visait ainsi à compenser la consommation du couvert et remplir la réserve utile.

On observe une diminution rapide et plus importante de la tension en eau des sols à 30 cm de profondeur sur la parcelle en labour (pente de la courbe plus importante qu'en SD) après irrigation ou pluie significative. La tension augmente ensuite rapidement et fortement. Le sol semble s'assécher un peu plus vite en labour qu'en SD à 30 cm de profondeur du fait de l'absence de couvert laissé en surface notamment. On note également que la tension mesurée à 30 cm est plus importante qu'à 60 cm lors du début de suivi. En fin de suivi, la tension mesurée à 60 cm est plus élevée qu'à 30 cm (assèchement en profondeur) et est plus forte en SD que sur le témoin (à 30 et 60 cm de profondeur). La pluie enregistrée entre le 15 et le 18/08 a fait diminuer plus fortement la tension en labour. À cette période du suivi, les parcelles sont au même stade phénologique. On note également, qu'à partir du 04/09, la tension à 30 cm mesurée en labour devient supérieure à celle mesurée en SD.

Lors de ce suivi, le maximum de tension atteint en labour est de 147 cbars tandis qu'il est de 115 cbars au plus haut sur le SD à 30 cm de profondeur. Le système en SD avec les différents apports d'eau en cours de campagne (irrigation et précipitations) semble, en termes de disponibilité en eau dans le sol, avoir été dans de meilleurs conditions que le labour.

Figure 6 – Suivi de la tension en eau des sols mesurée à 30 et 60 cm de profondeur sur les parcelles du projet (exemple îlot D sur la campagne 2022) : parcelle D2 en labour et D1 en SD.



### Suivi de la conductance stomatique

La figure 3 représente l'évolution des ETP (évapotranspiration potentielle) et des mesures de conductance stomatique réalisées en 2022, première campagne de mesure pour cet appareil en année sèche, avec un poromètre sur la période du 13/06/22 au 25/07/22.

La conductance stomatique est inversement proportionnelle au stress hydrique. Le classement suivant est observé :

parcelles pluviales TCS < parcelles pluviales SD < parcelles TCS/labour irriguées < parcelles SD irriguées.

Au 08/07 PM, la parcelle D2 voit sa conductance stomatique dépasser celle de la parcelle D1 SD du fait de son irrigation le 07/07 en fin d'après-midi. Elle apparaît ainsi moins stressée ponctuellement sans que cela soit représentatif de la dynamique globale. À partir de cette date, on observe que la fermeture des stomates semble plus prononcée sur les parcelles pluviales. En fin de campagne, après une longue période de fortes chaleurs et de sécheresse, les parcelles SD irriguées semblent mieux résister au stress hydrique.

### Performance de l'irrigation

#### Performance agro techniques des systèmes d'irrigation

*Productivité de l'eau totale (figure 4)*

La PET comptabilise la biomasse produite par le couvert ainsi que la culture principale, ramenée à l'eau reçue par la parcelle (irrigation et pluviométrie). Lors de la campagne 2021, la PET calculée est plus élevée en SD pour 5/7 parcelles.

En 2022, 4/5 parcelles en SD ont obtenu une meilleure PET que leur témoin malgré des rendements légèrement plus faibles qu'en TCS. La production de biomasse par le couvert a été globalement plus importante en SD du fait de la durée d'implantation plus importante sur ces

dernières. En ce qui concerne les parcelles en SD de l'îlot D et chez l'AP5, l'absence de couvert en labour a joué en faveur du SD.

*Productivité du surplus de rendement permis par l'eau d'irrigation – campagne 2022 (figure 5)*

Le calcul de la PSEI ne peut être réalisé que si la parcelle d'intérêt possède un témoin pluvial et pour des cultures irriguées (ex. : maïs ou soja).

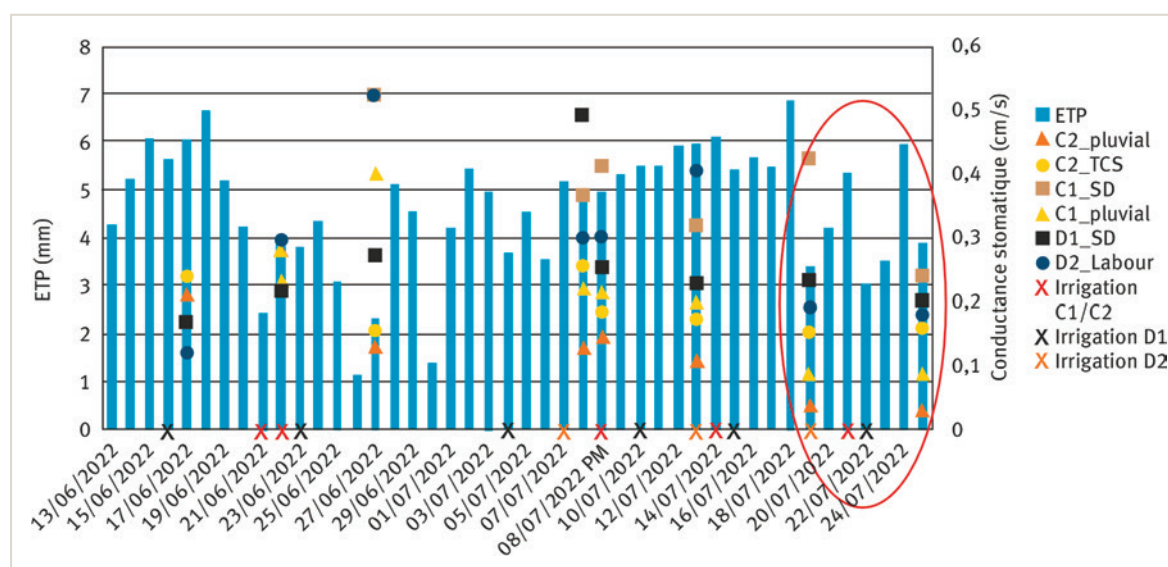
Dans les conditions climatiques de 2022, année sèche, l'irrigation du maïs a permis un gain sur la partie en SD de 2,3 kg de rendement par m<sup>3</sup> d'eau d'irrigation. Ce gain est de 3,5 kg de rendement/m<sup>3</sup> sur le témoin en TCS. Le gain est supérieur en TCS en raison d'un meilleur rendement obtenu en TCS irrigué en comparaison à la parcelle en SD qui a connu des attaques de limaces et une levée du maïs difficile sur certaines zones de la parcelle (la production de couvert végétal n'est pas intégrée au calcul). Le semis a été réalisé dans un couvert très dense, avec une présence de seigle qui a gêné la levée..

La même quantité d'irrigation a été apportée sur les deux parcelles.

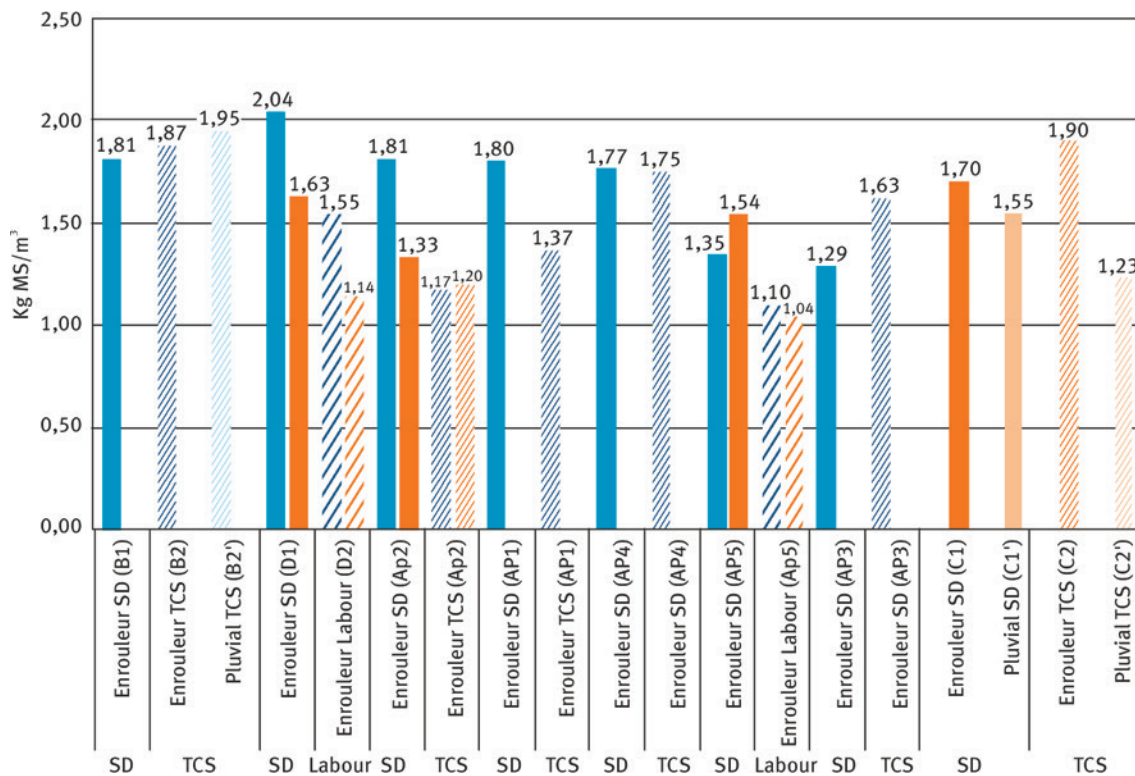
La comparaison des modalités d'irrigation pour les parcelles SD par rapport aux témoins TCS irrigués au CE (figure 6), montre que la quantité moyenne d'eau d'irrigation appliquée sur les parcelles en GGE est plus faible que celle appliquée via l'irrigation au CE (- 5 % à - 8 %). Le système en CI ne montre pas d'économie d'eau d'irrigation par rapport au CE (+ 19 %).

Concernant la comparaison du volume d'irrigation entre les parcelles SD et TCS irriguées au CE, nous notons un maintien des volumes voire leur augmentation malgré les potentialités de réduction notées (figure 2), à part chez l'un des AP une année. L'absence de valorisation de ces opportunités traduit des problématiques logistiques ou des freins psychologiques représentatifs de ce que peuvent rencontrer les agriculteurs de la zone dans

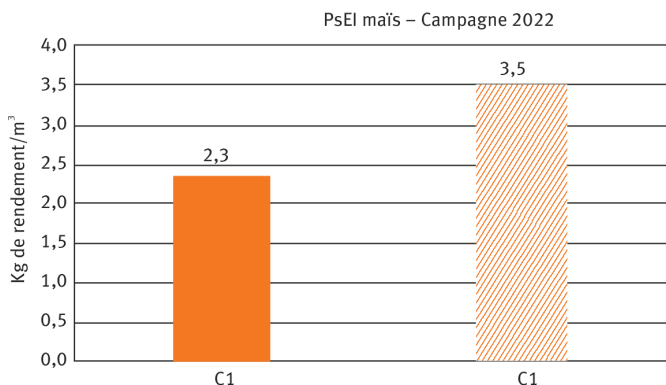
**Figure 3** – Évolution de la conductance stomatique des parcelles de la Mirandette (résultats de la campagne 2022, année sèche). Les croix sur l'axe des abscisses représentent les dates d'irrigation ; au 08/07 : la mesure a été réalisée en début d'après-midi (PM). L'ETP journalière est représentée par les histogrammes bleus, les points correspondent aux valeurs de conductance stomatique moyennes mesurées.



**Figure 4** – Productivité de l'eau totale (PET) des parcelles de maïs lors des campagnes contrastées de 2021 (année humide) et 2022 (année sèche). Remplissage bleu : année 2021 ; remplissage orange : année 2022 ; remplissage plein et foncé correspond aux parcelles en SD irriguées ; remplissage plein et clair : parcelles SD pluviales ; remplissage hachuré fin et foncé : TCS irrigué ; remplissage hachuré fin et clair : parcelle TCS pluviale ; remplissage hachures larges : parcelles labour.

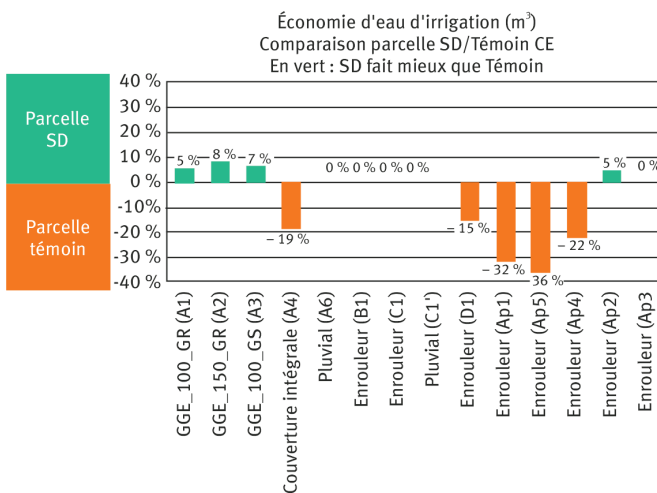


**Figure 5** – Productivité du surplus de rendement permis par l'eau d'irrigation (PSEI) par rapport à un témoin pluvial. Remplissage plein et foncé correspond aux parcelles en SD irriguées ; remplissage hachuré fin et foncé : TCS irrigué.



**Figure 6** – Comparaison de la quantité moyenne d'irrigation appliquée selon le matériel d'irrigation (témoin : TCS irrigué au CE).

Les résultats positifs (en vert), signalent un résultat amélioré pour le SD (ACS) en comparaison au témoin, tandis que les résultats négatifs (en orange) présentent un résultat détérioré pour le SD en comparaison au témoin.



cette démarche de transition vers des économies d'eau. En effet, d'une part, pour l'îlot B, l'irrigation n'était pas différenciée entre ces systèmes en raison du positionnement inadéquat du CE et de la dimension des parcelles, du manque de temps/d'enrouleurs pour réaliser une irrigation différenciée. La gestion de l'irrigation n'a pas été optimale pour les deux parcelles. Cette problématique a été résolue en 2023. La gestion de l'irrigation a pu alors se baser sur le système SD avec un seuil de déclenchement de l'irrigation situé à 80-100 centibars par rapport au pilotage aux sondes tensiométriques situées à 30 cm de profondeur et des économies d'eau en conséquence. D'autre part, durant les années de transition, la volonté d'améliorer rapidement la qualité des sols peut amener à sacrifier les économies d'eau dans un premier temps pour les améliorer par la suite. En conséquence, les agriculteurs ont parfois fait le choix de semer en SD plus tard que sur leurs témoins afin de laisser le couvert végétal se développer au maximum, dans le but d'améliorer le taux de matière organique. Les variétés n'ayant pas nécessairement été adaptées pour changer l'indice de précocité, un décalage dans les stades culturaux s'est opéré. Le sol était plus sec au démarrage de la culture. Le maïs en SD a fait une partie de son cycle, où les besoins en eau sont importants, durant la période sèche. Un tour d'eau supplémentaire a donc été réalisé. En conséquence, chez 3/5 AP, la quantité d'irrigation appliquée a été plus faible sur les témoins (de -22 à -36%). Le dernier AP a appliqué les mêmes quantités d'irrigation que ce soit en SD ou sur le témoin. Sur D1, on note que la quantité d'irrigation a été plus importante en SD lors des deux campagnes considérées. Les variétés semées ont été les mêmes entre les deux parcelles. Cependant, il est important de noter que la parcelle labour n'a pas eu de couvert implanté entre les deux cultures de maïs, tandis que la parcelle SD en avait. De plus, en 2022, la durée d'implantation du CV a été longue et le CV s'est bien développé et a ainsi produit plusieurs tonnes de biomasse sèche.

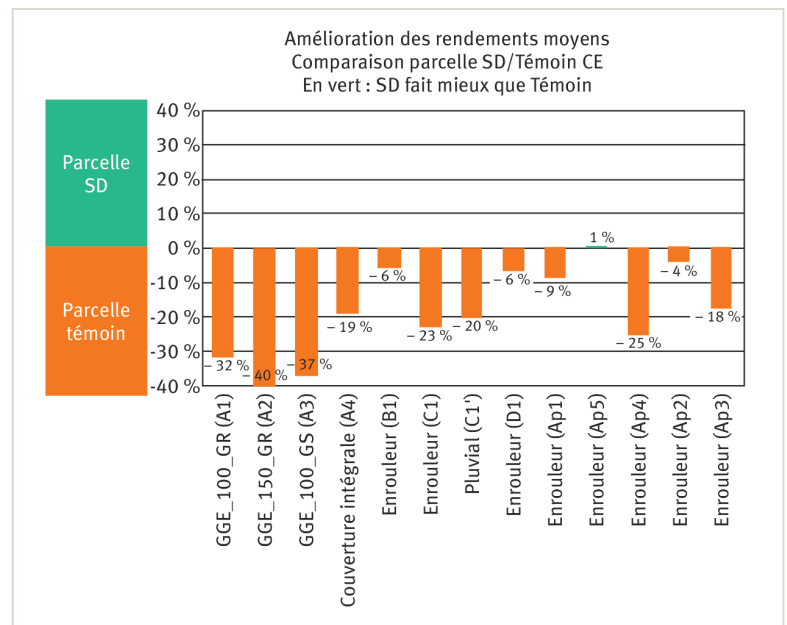
Les années suivantes, l'hiver sec a conduit, au contraire les agriculteurs à ne pas miser sur les couverts et à semer plus tôt. Ils ont ainsi pu améliorer leur gestion de l'eau. Cependant des améliorations complémentaires pourraient être observées grâce à une animation plus poussée concernant les résultats des sondes et sur l'emploi de variétés précoces.

La figure 7 vise à comparer les rendements moyens obtenus en maïs sur les différentes parcelles sur la période 2019-2022. Les témoins sont tous irrigués au CE. Les quatre premières années de transition, les rendements moyens 2019/2022 en maïs sont globalement plus faibles en SD en comparaison aux témoins respectifs. En moyenne, pour les parcelles irriguées de la Mirandette, la baisse de rendement atteint 24% par rapport aux témoins. Si l'on se concentre sur le système d'irrigation utilisé, on peut noter une diminution plus importante du rendement moyen des parcelles en SD irriguées au GGE (-36,3%) et encore plus au GGE avec gaines espacées de 1,5 où l'on note une baisse de rendement de 40% par rapport au témoin TCS irrigué au CE. Le rendement moyen n'est réduit que de 19% en irrigation en CI. Pour les parcelles irriguées au CE, la baisse de rendement moyen observée est de 14,5% (C1 et D1), et ce malgré une campagne culturale 2022 particulièrement

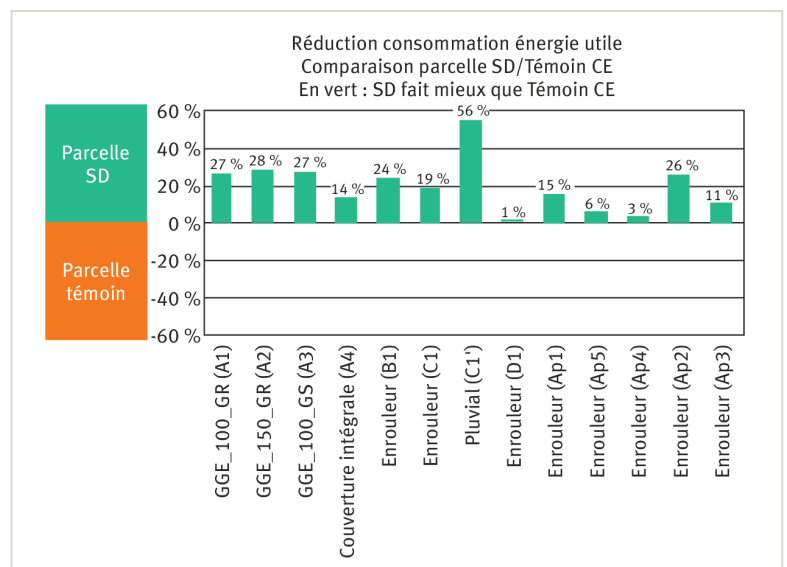
compliquée sur la parcelle C1 en maïs. Il a été observé une levée difficile à certains endroits de la parcelle du fait d'un couvert dense et de l'attaque de ravageurs et notamment de limaces. Cela est également observé sur C1 pluviale. Si l'on compare cette dernière à son témoin pluvial, le rendement moyen y est réduit de 20%.

Chez les AP, le rendement moyen est équivalent pour un des AP (+1% en SD). Il est réduit en moyenne de 16,5% (résultats s'échelonnant de -4% à -25%). Les facteurs irrigation et matériels d'irrigation ne sont pas les seuls facteurs explicatifs de cette baisse de rendement.

**Figure 7 – Comparaison des rendements moyens obtenus en maïs, 2019-2022. Les résultats positifs (en vert), signalent un résultat amélioré pour le SD (ACS) en comparaison au témoin, tandis que les résultats négatifs (en orange) présentent un résultat détérioré pour le SD en comparaison au témoin.**



**Figure 8 – Comparaison de la consommation d'énergie utile selon le matériel d'irrigation (témoin : TCS irrigué au CE). Les résultats positifs (en vert), signalent un résultat amélioré pour le SD (ACS) en comparaison au témoin, tandis que les résultats négatifs (en orange) présentent un résultat détérioré pour le SD en comparaison au témoin.**



5. Électricité pour l'irrigation et consommation de carburant lors des interventions culturales.

En ce qui concerne la consommation d'énergie utile<sup>5</sup>, celle-ci est plus faible pour les parcelles SD et, de manière encore plus importante pour celles irriguées au GGE (figure 5). En effet, les systèmes en GGE demandent des pressions de fonctionnement plus faibles que celles utilisées pour l'aspersion au CE (1 à 3 bars en GGE contre 9 bars à l'entrée de la bobine pour le CE). L'absence de travail du sol en SD limite le nombre d'interventions et ainsi la consommation de carburant.

La consommation d'énergie utile est également plus faible en SD irrigué en CI en comparaison au témoin TCS irrigué au CE pour les mêmes raisons citées précédemment, mais dans une moindre mesure (-14%).

En l'absence d'irrigation et de travail du sol (parcelle pluviale C1'), la consommation d'énergie utile est très réduite.

### Performance économique

Les résultats économiques moyens à l'échelle du système de culture sont présentés dans le tableau 2. Les résultats des parcelles irriguées au GGE sur l'îlot A sont moyennées entre les différentes modalités (écartement et type de gaines différents).

Globalement, on observe que les chiffres d'affaires moyens obtenus sur les parcelles pluviales (TCS ou SD) sont les plus faibles avec un résultat amélioré en TCS

(-11,5% entre le SD et son témoin - îlot C). Cela peut notamment s'expliquer par des levées moins homogènes sur la parcelle SD, un semis dans un CV très dense ainsi que des attaques de limaces. Par ailleurs, l'îlot était conduit en maïs en 2022, année sèche, ce qui a fortement pénalisé les rendements obtenus sur cette parcelle. De plus, le semis du maïs cette même année, opéré mi-avril en TCS et en mai en SD, n'a pas permis à la modalité en SD de profiter des pluies après le semis.

Concernant les parcelles irriguées, le chiffre d'affaire moyen est plus faible pour les parcelles SD et plus particulièrement sur l'îlot A et C. L'abondance d'adventices observée sur l'îlot A lors d'une campagne a fortement impacté les rendements et ainsi le chiffre d'affaire. Pour la parcelle C1, la même explication que celle donnée pour la parcelle SD pluviale peut être avancée.

La différence obtenue entre les parcelles de l'îlot D est faible du fait notamment de rendements équivalents obtenus sur ces deux parcelles et corrects en 2022.

Les charges opérationnelles moyennes correspondent aux achats d'intrants tels que les semences, les produits phytosanitaires, les engrais, l'irrigation (redevance agence de l'eau, fuel et électricité) et les autres intrants.

Elles sont légèrement plus faibles entre les systèmes en SD et les témoins sur l'îlot C (pluviaux et irrigués).

Tableau 2 – Résultats économiques moyens, à l'échelle du système de culture (2019-2022).

	Moy A GGE	A CI SD	A pluv SD	C1 SD	C1' SD pluv	C2 TCS	C2' TCS pluv	D1 SD	D2 Labour
Chiffre d'affaire (CA) moyen (€/ha)	1 264	1 429	940	1 649	917	2 083	1 036	2 351	2 501
Charges opérationnelles (CO) moyennes (€/ha)	864	916	642	998	621	1 022	622	1 150	1 062
<b>Marge brute (MB) moyenne hors aides (€/ha)</b>	<b>400</b>	<b>514</b>	<b>297</b>	<b>650</b>	<b>296</b>	<b>1 061</b>	<b>414</b>	<b>1 201</b>	<b>1 438</b>

### Encadré 1 – Autres tendances observées.

Concernant la performance environnementale des systèmes en SD en comparaison à leurs témoins, deux indicateurs se détachent au profit des modalités en SD : la consommation de carburant et les émissions de GES directes.

La consommation moyenne de carburant à l'échelle du système de culture, qui ne prend pas en compte le déplacement des canons pour l'irrigation, est inférieure en SD comparé aux témoins pour tous les couples de parcelles. Elle est en moyenne réduite de -53% en SD. Les résultats s'échelonnent de -28% à -66% par rapport aux témoins. Cette tendance est observée pour toutes les campagnes et s'explique notamment par l'absence de préparation du sol pour le semis en SD en comparaison aux témoins.

Elle est globalement plus faible sur les parcelles de la Mirandette comparé aux parcelles des AP.

En SD, la consommation la plus faible concerne l'îlot C puis les îlots B et A (tous en rotation). L'îlot D en monoculture de maïs a une consommation de carburant supérieure. En TCS/Labour, elle est plus faible en labour (D2) que sur la parcelle TCS diversifiée. Le nombre de passage moyen sur la parcelle en labour est légèrement plus faible.

Si l'on mène l'analyse par culture, en 2022, la consommation de carburant à la Mirandette pour les parcelles SD est plus importante en blé (41,3 L/ha) puis en soja (AP4 : 39,2 L/ha) et enfin en maïs (37,4 L/ha). Lors des campagnes 2020 et 2021, la consommation de carburant moyenne pour la culture de soja, sur les parcelles SD de la Mirandette est de 31,5 L/ha. Elle est également inférieure à la consommation de carburant liée à la culture de maïs.

Par contre, pour la culture du blé, on ne note pas de différence importante entre le SD et son témoin.

Les émissions de GES directes moyennes (*in situ* l'exploitation), liées aux postes engrais, irrigation et carburant (hors irrigation), sont réduites en SD en comparaison aux parcelles témoins pour 92% des parcelles en SD. Elles sont réduites de 17% en moyenne à la Mirandette et de 9% chez les AP. La part de la fertilisation dans les émissions de GES directes est importante et représente plus de 72% des émissions.

Si l'on compare ces résultats par rapport aux rotations, on observe logiquement, que les parcelles dont la rotation inclut du soja ont des niveaux d'émission de GES directes encore plus faibles.

Les émissions de GES directes liées à la culture du soja en SD sont 6,3 fois plus faibles qu'en maïs en SD (et 4,8 fois moins en TCS) et 5,9 fois moins qu'en blé en SD (et 4,2 fois moins en TCS).

De plus, on observe, au sein de l'îlot A, des émissions de GES directes plus importantes pour la parcelle en CI.

D'autres indicateurs tels que le temps de travail, la vie du sol (notamment les vers de terre) sont en faveur du SD en comparaison à leurs témoins conventionnels. Ces résultats ont été observés pour chaque année du projet, à la Mirandette et chez les AP.

Le temps de travail est en moyenne réduit de 27% en SD par rapport au témoin (AP et Mirandette).

Les parcelles pluviales ont logiquement les charges opérationnelles les plus faibles du fait de l'absence de charges liées à l'irrigation.

Les charges opérationnelles sont légèrement supérieures sur la parcelle SD de l'îlot D en comparaison à son témoin en labour. Cela est notamment lié à l'implantation du CV en SD, à une densité de semis supérieure pour la culture principale et à une quantité d'irrigation plus importante également en SD.

Si l'on compare les charges opérationnelles selon le matériel d'irrigation utilisé, on note que celles-ci sont un peu plus faibles lorsque l'irrigation est réalisée au GGE, par rapport à l'irrigation via la CI ou encore le CE. À la Mirandette, les marges brutes moyennes hors aides (chiffre d'affaire – charges opérationnelles) sont améliorées sur les parcelles irriguées au CE comparées aux autres systèmes d'irrigation et aux parcelles pluviales. Parmi elles, les parcelles de l'îlot D ont les meilleurs résultats, elles sont suivies par l'îlot B (SdC diversifié). L'îlot D, conduit en monoculture de maïs, obtient des rendements globalement supérieurs aux parcelles de l'îlot B (rendements plus faibles en soja et blé). En termes de comparaison SD/témoin, la MB est réduite de – 16,5 % pour l'îlot D, de – 28,5 % pour les modalités irriguées au CE de l'îlot C et de – 38,7 % pour les modalités pluviales de l'îlot C.

### Performance globale

Les résultats moyens des comparaisons SD/témoin de quinze indicateurs sont présentés dans la figure 9.

Globalement, on observe que les parcelles SD obtiennent de meilleurs résultats pour les indicateurs de performance agronomique et environnementale en comparaison aux témoins.

Sur les quinze indicateurs présentés, huit sont en faveur du SD. Ce sont les performances techniques et économiques qui sont les moins bonnes à ce stade de la transition.

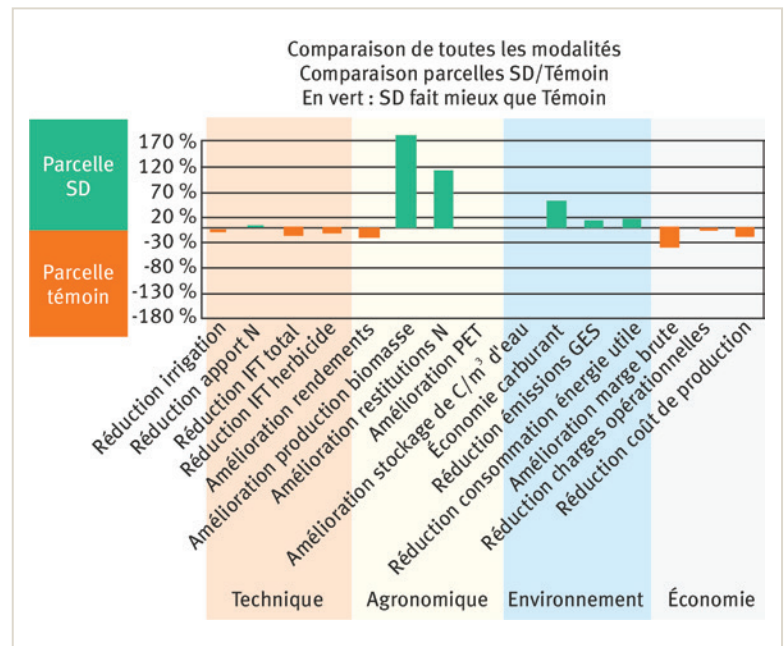
Les résultats présentés sont encourageants en période de transition, processus long et dont il est généralement établi par la littérature que l'équilibre est atteint au bout d'une dizaine d'années. En effet, les résultats présentés ci-dessus ont été acquis sur des systèmes jeunes, qui sont, en 2022, dans leur quatrième année en SD. Par ailleurs, de nombreuses marges d'améliorations sont relevées quant à l'irrigation si l'on se fie aux résultats de la tension en eau des sols et du confort hydrique (conductance stomatique).

De plus, la transition représente un risque important pour les agriculteurs, le temps que le travail mécanique puisse être compensé par le travail biologique et physique du sol, dépendant du temps de régénération du sol. Un accompagnement resserré avec l'appui d'agriculteurs experts est donc nécessaire (Audouin *et al.*, 2024).

### Conclusions et perspectives

L'analyse de la performance des systèmes d'irrigation (comparaison SD GGE, CI et CE aux TCS/labour CE) a montré que l'irrigation au GGE permettait de réaliser des économies d'énergie et d'eau d'irrigation consommée mais conduisait à des rendements plus faibles que ceux obtenus par irrigation au CE et notamment lorsque la parcelle est irriguée au GGE avec gaines espacées de 1,5 m.

**Figure 9 – Évaluation de la performance globale moyenne des parcelles SD en comparaison aux témoins (\*ne prend pas en compte les parcelles pluviales).**



Plus globalement, l'analyse de la productivité de l'eau totale a montré que la majorité des parcelles en SD avaient obtenus de meilleurs résultats que leurs témoins. Ce résultat est encore plus visible si l'on compare le SD au labour sans couvert. L'eau semble être mieux valorisée par les parcelles en SD. En ce qui concerne la productivité supplémentaire permise par l'eau d'irrigation, comparé au pluvial, l'irrigation de la parcelle TCS permet un gain de rendement par m<sup>3</sup> d'eau d'irrigation plus important qu'en SD à ce stade de la transition.

Le suivi de la tension en eau des sols ainsi que de la conductance stomatique en 2022 nous montrent que des économies d'eau d'irrigation sont possibles en SD et que ces dernières semblent avoir mieux résisté au stress hydrique que leurs témoins. Des modifications du dispositif expérimental et du parc matériel ont été opérées en 2023 afin de faciliter la dissociation de l'irrigation entre le SD et son témoin et afin d'observer l'impact d'économies d'eau forcées sur les indicateurs technico-économiques.

L'analyse à l'échelle du système de culture montre des résultats en faveur des systèmes en SD par rapport à leurs témoins en travail du sol, en particulier pour les indicateurs socio-environnementaux (consommation de carburant, émissions de GES, vie du sol, temps de travail).

En ce qui concerne la performance économique des systèmes en SD, celle-ci est altérée pour certaines parcelles en raison de rendements un peu plus faibles en SD, à des charges de semences (couvert, culture principale) plus importantes. Pour d'autres, la performance est équivalente au témoin. On note cependant que les charges opérationnelles sont légèrement supérieures pour les témoins du fait des opérations de travail du sol notamment.

Des marges de progrès persistent pour la réduction des intrants (engrais, eau, produits phytosanitaires) et donc pour les charges opérationnelles. Nous pouvons espérer une amélioration des rendements au fur et à mesure de l'avancée de la transition.

Ce système en SD nécessite l'acquisition de nouvelles compétences (technicité du SD, gestion de l'eau, des adventices, ravageurs et fertilisants), l'appropriation de nouveaux outils (semoir SD, tensiomètres) et demande un changement d'approche du système de culture, une reconception qui engendrent une réorganisation du travail. Un accompagnement complémentaire ad hoc a été proposé pour 2023. ■

## RÉFÉRENCES

- Agreste. (2023). *Fiche territoriale synthétique RA 2020 « Gers »*. DRAAF Occitanie. Consulté sur : <https://draaf.occitanie.agriculture.gouv.fr/fiches-des-principales-donnees-departementales-et-regionale-a6674.html>
- Audouin, E., Rochwerger, A., Lacaze, F., Bonillo, C., Lhuissier, L. (2024). Accompagnement des agriculteurs dans la transition agroécologique pour les économies d'eau. *Revue Sciences Eaux et Territoires*, 46, 8145. <https://doi.org/10.20870/Revue-SET.2024.45.8145>
- BRGM. (2010). *Les pertes en terre par érosion hydrique des sols*.
- DRAAF Occitanie. (2020). *Fiche RA 2020 - Irrigation – Territoire : Gers (32)*. Consulté sur : [https://draaf.occitanie.agriculture.gouv.fr/IMG/html/fiche\\_irrigation\\_gers\\_\\_32\\_-2.html](https://draaf.occitanie.agriculture.gouv.fr/IMG/html/fiche_irrigation_gers__32_-2.html)
- GIS SOL. (2011). *Synthèse sur l'état des sols de France*. Groupement d'intérêt scientifique sur les sols, 24 p.
- Giuliano, S., Alletto, L., Deswarte, C., Perdrieux, F., Daydé, J., & Debaeke, P. (2021). Reducing herbicide use and leaching in agronomically performant maize-based cropping systems : An 8-year study. *The Science Of The Total Environment*, 788, 147695. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147695>



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.

## Accompagnement des agriculteurs dans la transition agroécologique pour les économies d'eau

Élise AUDOIN<sup>1</sup>, Anna ROCHWERGER<sup>1</sup>, Florine LACAZE<sup>1</sup>, Christophe BONILLO<sup>1</sup>, Ludovic LHUISSIER<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Rives & Eaux du Sud-Ouest (ex CACG), 65004 Tarbes Cedex, France.

Correspondance : Élise AUDOIN, [e.audouin@riveseteaux.fr](mailto:e.audouin@riveseteaux.fr)

*Comment aider les agriculteurs à surmonter les défis de la transition agroécologique et à réduire leur consommation d'eau pour irriguer les cultures ? Mené dans le département du Gers, le projet TASCII pour « Transition agroécologique des systèmes de culture irrigués innovants » vise à accompagner les agriculteurs du territoire dans le passage de leurs systèmes conventionnels à des pratiques plus économes en eau, comme l'agriculture de conservation des sols. Cet article explore les méthodes d'accompagnement mises en œuvre, étudie les freins et leviers rencontrés, ainsi que le suivi et l'évaluation des impacts. Il présente enfin les résultats observés tant sur les pratiques agricoles que sur les dynamiques d'acteurs concernés.*

### Le contexte du projet et de son déploiement

#### Caractéristiques de la zone d'étude

Le projet TASCII, pour « Transition agroécologique des systèmes de culture irrigués innovants » est mené dans le département du Gers, dans la région agricole de l'Astarac (encadré 1). Ses objectifs sont les suivants :

i) expérimenter des systèmes en agriculture de conservation des sols (ACS) en station expérimentale (Lacaze *et al.*, 2024) ;

ii) accompagner un réseau d'agriculteurs pilotes (AP) dans la transition vers l'ACS (objet du présent article) ;

iii) réaliser une analyse multicritère des systèmes sur les économies d'intrants, dont l'eau (Lacaze *et al.*, 2024).

Parmi les objectifs de la partie ii), le projet vise à identifier les freins et les leviers à la transition agroécologique, ainsi que les formes d'accompagnement adaptées à cette transition. Le projet a été financé par l'Agence de l'eau Adour Garonne (AEAG) sur la période 2020-2024 et par la région Occitanie sur la période 2020-2023). Les résultats présentés se focalisent sur les années 2019-2022.

#### Modèle conceptuel

Le projet TASCII s'articule autour de la mobilisation de plusieurs dispositifs expérimentaux et de l'accompagnement de plusieurs cercles d'acteurs.

#### Table des sigles

ACS	Agriculture de conservation des sols
AEAG	Agence de l'eau Adour Garonne
AP	Agriculteurs pilotes
ARS	Agriculture de régénération des sols
CACG	Compagnie d'aménagement des coteaux de Gascogne
CI	Couverture Intégrale
CUMA	Coopérative d'utilisation de matériel agricole
ETA	Entreprise de travaux agricoles
GGE	Goutte-à-goutte
GIEE	Groupement d'intérêt économique et environnemental
GIS GC	Groupement d'intérêt scientifique grandes cultures
IFT	Indice de fréquence de traitement
MAET	Mesures agro environnementales territorialisées
SAU	Surface agricole utile
SCII	Système de culture irrigué innovant
SD	Semis direct
TAI-Oc	Transition agroécologique et irrigation en Occitanie
TASCII	Transition agroécologique des systèmes de culture irrigués innovants
TETRAE	Transition en territoires de l'agriculture, l'alimentation et l'environnement
TCS	Techniques cultures simplifiées
UGB	Unité de gros bétail

**Encadré 1 – Localisation et caractéristiques de la zone d'étude du projet TASCII.**

Les exploitations suivies dans le cadre du projet TASCII (Transition agroécologique des systèmes de culture irrigués innovants) se situent dans le département du Gers, dans la région agricole de l'Astarac. La surface agricole utile (SAU) moyenne des exploitations agricoles dans le département est de 67 ha en 2020 et 85 ha pour les exploitations en grandes cultures (Agreste, 2023). Dans la région agricole de l'Astarac, la SAU est plus petite que la moyenne nationale (61 ha, DRAAF Occitanie, 2022a).

La principale orientation technico-économique dans le département se concentre sur les grandes cultures (blé et maïs, 38%). Les prairies permanentes sont également bien représentées (21%). Le département du Gers est aussi le premier producteur de soja et tournesol à l'échelle nationale ; au total, les oléagineux représentent 24% de l'assolement de la zone d'étude. On retrouve aussi dans le département l'élevage de volailles (14% des exploitations agricoles) et de bovins viandes (21% des exploitations agricoles) même si un net recul est noté de l'ordre de -25% du total UGB (unité de gros bétail) entre 2010 et 2020 (Agreste, 2023).

Dans le département du Gers, 16% des surfaces en production sont irriguées, principalement pour la culture du maïs qui représente 53% des surfaces irriguées en 2020, suivie par le soja (24%) (DRAAF Occitanie, 2022b). Le projet TASCII se déroule dans la station expérimentale de la Mirandette (Masseube, Gers), ainsi que dans un réseau d'agriculteurs pilotes (AP) localisés dans un rayon de 20 km. À l'image du Gers, les AP irriguent essentiellement leurs productions de maïs, de maïs semence et de soja. Ils produisent également du blé et de l'orge, du colza et du tournesol.

Seules 9% des exploitations du département pratiquent le semis direct (SD). Chez les AP du projet, on retrouve les deux pratiques de travail du sol les plus fréquentes du département, labour conventionnel ou travail du sol réduit (techniques culturales simplifiées ou TCS), quasiment à part égale.

Les projections climatiques pour le Gers en 2050 prévoient une hausse des températures de +1 à 2°C, une augmentation du nombre de jours de sécheresse, une baisse des débits naturels des rivières de 20 à 40%. Jusqu'à présent, le système Neste<sup>1</sup> et les ouvrages de stockage ont contribué à maintenir une certaine stabilité de la ressource en eau. Cependant des écarts entre la demande et la disponibilité de la ressource pendant la période d'étiage engendrent des restrictions fréquentes. En termes de qualité, seules 28% des eaux de la Neste et rivières de Gascogne sont classées en « bon état écologique » en raison de la pollution par les pesticides, les nitrates et les particules en suspension liées aux problèmes persistants d'érosion (Commission locale de l'eau NRG, 2023).

1. Le canal de la Neste compose, avec un ensemble de retenues (Puydarrieux, Gimone, Astarac, Castelnaud-Magnoac, etc.), de rigoles et les rivières qu'il alimente, le « système Neste » qui permet de maintenir le niveau d'eau des rivières en conciliant de nombreux usages, dont les usages agricoles.

2. TAI-OC du programme TETRAE, Groupement d'intérêt scientifique « Grandes cultures, agriculture de régénération des sols » (AgriSudOuest Innovation), réseau de fermes ATIOC-ATINA/OGAYA (Chambre régionale d'agriculture d'Occitanie).

Concernant les dispositifs expérimentaux :

- des essais sont menés sur la station expérimentale de la Mirandette en ACS, TCS et labour, avec différentes modalités d'irrigation (canon enrouleur, aspersion, goutte-à-goutte, pluvial ; 15 modalités sur 4 blocs nommés A, B, C et D ; Lacaze *et al.*, 2024) ;
- des essais sont menés chez cinq agriculteurs pilotes avec une modalité innovante en ACS (SCII = système de culture irrigué innovant), répondant aux objectifs spécifiques de l'exploitant, et un témoin (TCS ou labour) représentatif du système de culture dominant de l'exploitation agricole (Lacaze *et al.*, 2024).

Concernant les cercles d'acteurs, le projet s'intéresse, en référence au cadre conceptuel de Rogers (1962), à différents groupes :

- les innovants : les agriculteurs experts ;
- les adoptants précoces : les agriculteurs pilotes ;
- la majorité précoce : les participants aux portes ouvertes ;
- la majorité tardive : les lecteurs des productions.

Les agriculteurs pilotes (AP) bénéficient d'un dispositif d'accompagnement itératif en cinq étapes (figure 1). Le projet TASCII adopte une posture d'observation participante. Les objectifs et itinéraires techniques sont définis individuellement par chaque AP. Les AP sont également consultés pour la production d'indicateurs de suivi et l'évaluation de chaque campagne. L'équipe du projet observe ce que les AP envisagent de réaliser durant la campagne, ce qu'ils réalisent effectivement, les questionnements, les freins et les leviers rencontrés et leur évolution dans le temps. Des ateliers et des réunions bouts de champ ponctuent la campagne culturale. Dans ce cadre, des experts agriculteurs et académiques sont conviés. Entre chaque événement, un fil de discussion est alimenté.

Des journées portes ouvertes sont organisées auprès de différents publics. Différents supports de communication sont produits.

En parallèle, des travaux spécifiques sont entrepris pour développer l'ingénierie de l'accompagnement auprès des acteurs du département. L'objectif est de positionner le projet TASCII en termes de méthodologie et de résultats au sein de l'écosystème d'acteurs.

Enfin, le projet s'intègre dans d'autres réseaux et projets<sup>2</sup>.

**Collecte de données**

Pour étudier l'accompagnement de la transition agroécologique, des données internes au projet TASCII ont été collectées ainsi que des données externes relatives à des cas d'étude du sud-ouest et essentiellement de l'ex région Midi-Pyrénées.

Cette étude s'appuie sur :

- une série d'entretiens individuels semi-directifs menés auprès des agriculteurs et des animateurs de collectifs pour un panel de projets d'accompagnement de la transition agroécologique en grandes cultures dans l'ex région Midi-Pyrénées, dont le projet TASCII ;
- les itinéraires techniques mis en œuvre et les évaluations de chaque animation par les agriculteurs pilotes dans le cadre du projet TASCII.

Les thématiques de transition agroécologique considérées dans l'échantillon de cas d'étude concernaient : la fertilité des sols, l'ACS, l'autonomie des exploitations, la réduction des intrants, l'érosion hydrique des sols, la couverture végétale, les biostimulants, les économies d'eau, la diversification et les labels bas carbone.

La taille des collectifs des cas d'étude variait de cinq à des ensembles de groupes constitués par une vingtaine d'agriculteurs.

Les entretiens ont permis d'identifier :

- les enjeux, sujets, thèmes abordés ;
- les postures d'animation adoptées et le degré de participation des collectifs (mise en place du projet, fonctionnement du groupe, animations proposées et menées) ;
- les moyens mis en œuvre pour le projet ;
- les freins, leviers rencontrés, les solutions mises en place, en cours de projets ou au cours des animations.

**Traitement des données**

Les données font l'objet d'une analyse qualitative et quantitative (tableau 1).

Figure 1 – Dispositif d'accompagnement de la transition agroécologique du projet TASCII.

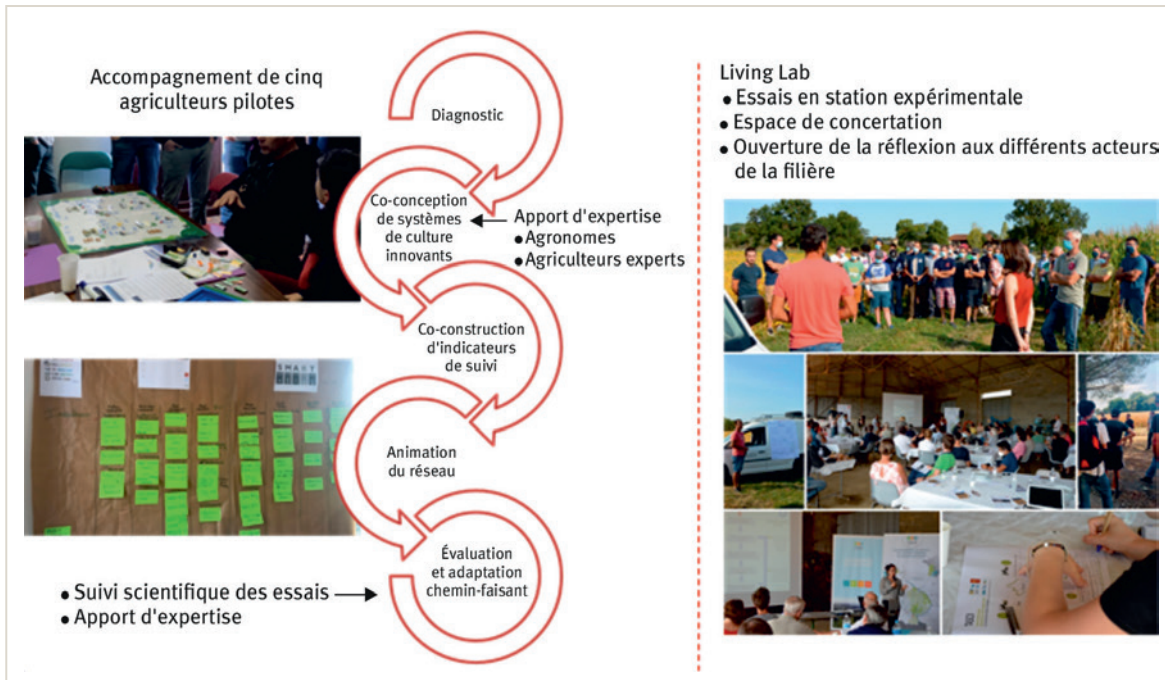


Tableau 1 – Traitement des données concernant l'accompagnement de la transition agroécologique.

	Interne Accompagnement des agriculteurs pilotes de TASCII	Externe Positionnement du projet TASCII dans l'écosystème des projets d'accompagnement de la transition agroécologique régionale
Qualitative	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Apprentissages</li> <li>– Niveau de transition cadre ESR (efficacité, substitution, reconception ; Hill et MacRae, 1995)</li> <li>– Niveau d'approche systémique (différentiation des itinéraires techniques entre le SCII et le témoin)</li> <li>– Freins</li> <li>– Leviers</li> <li>– Type d'accompagnement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Freins</li> <li>– Leviers</li> <li>– Types d'accompagnement</li> </ul>
Quantitative	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Évaluation de l'accompagnement</li> <li>– Augmentation du parcellaire en transition</li> <li>– Investissement dans du matériel spécifique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Niveau de participation des agriculteurs et agricultrices à chaque étape de l'accompagnement (cadre d'analyse, cf. annexe)</li> <li>– Nombre d'animations proposées par campagne</li> <li>– Moyens impliqués</li> </ul>

### Analyse des résultats

#### Les freins et leviers de la transition agroécologique

Les entretiens ont révélé que la qualité de l'accompagnement de la transition agroécologique dépend des éléments listés dans la figure 2. Quatre des cinq critères identifiés sont de l'ordre du savoir-faire et du savoir-être du facilitateur.

Les agriculteurs du projet TASCII ont souligné l'importance du test en conditions réelles, de la mise à disposition de matériel, et du soutien du collectif pour les accompagner dans leur démarche de transition.

Les freins de l'accompagnement de la transition agroécologique, listés dans le tableau 2, sont d'ordre structurel, économique, logistique et relatifs aux compétences d'animation.

Par ailleurs, les AP du projet TASCII ont identifié les incertitudes sur l'évolution des systèmes et l'acquisition

Tableau 2 – Proportion relative des freins de l'accompagnement de la transition agroécologique d'après les entretiens menés auprès des animateurs des collectifs.

Freins	Part (%)
Moyens humains pour l'accompagnement (manque de temps)	24 %
Fédération (difficulté à maintenir la dynamique)	21 %
Freins à la modification/diversification des systèmes de cultures	16 %
Moyens financiers pour l'accompagnement (manque de budget)	13 %
Disponibilités des agriculteurs et agricultrices (sursollicités, grande charge de travail)	13 %
Freins économiques et logistiques (matériel/ investissement, disponibilités)	8 %
Éloignement des exploitations agricoles (difficultés pour organiser des essais et des rencontres)	5 %

**Figure 2** – Éléments clés de l'accompagnement de la transition agroécologique d'après les entretiens menés auprès des agriculteurs et animateurs des collectifs.

L'écoute	L'ambiance	La confiance	L'aspect technique et/ou financier	L'animation
Identification des appréhensions et besoins.  Accompagnement des thématiques plébiscitées.	Construction d'un esprit de groupe.  Climat de bienveillance.	Relations animateur/agriculteur.  Relations au sein groupe.	Information et appui spécifique.  Capitalisation des connaissances.	Lien aux ressources.  Aide au fonctionnement du groupe.  Communication.

de nouvelles compétences comme des freins à la transition. Une étude complémentaire sur les perceptions d'agriculteurs impliqués dans des projets de transition dans le Sud-Ouest<sup>3</sup> relève également les freins suivants :

- l'écart entre les mesures environnementales et les objectifs économiques de court terme ;
- le manque de reconnaissance des efforts environnementaux et agroécologiques des agriculteurs par la société ;
- les incohérences sociétales fragilisant les efforts réalisés, notamment en ce qui concerne la cohérence des réglementations nationales et internationales.

### Positionnement du projet TASCII dans l'écosystème des projets d'accompagnement de la transition agroécologique du Sud-Ouest

Le niveau de participation des agriculteurs varie beaucoup d'un projet à l'autre et d'une étape à l'autre (initiation du projet, définition de la problématique traitée, définition des systèmes de cultures, choix des indica-

teurs, suivi, évaluation). Les taux de participation les plus élevés se situent lors des étapes de définition des problématiques traitées (70 % des projets) et à l'initiation des projets (50 % des projets). En revanche, le processus de choix des indicateurs est peu participatif.

Dans le cas du projet TASCII, son initiation était partiellement participative car portée par le responsable de la station expérimentale, lui-même agriculteur. Le suivi, qui est lourd, n'est qu'en partie réalisé par les agriculteurs. En effet, la plupart des projets s'intéressent à un nombre restreint d'indicateurs, souvent uniquement le rendement, parfois l'indice de fréquence des traitements (IFT). Le projet TASCII s'en différencie par son analyse multicritères (socio-technico-économique et environnemental) ainsi que par son suivi expérimental poussé, couvrant différents aspects tels que le développement végétatif (culture, couvert), la vie du sol (analyses de sol, comptage de vers de terre, suivi de l'activité biologique) et les dynamiques hydriques (irrigation, sondes et stress des plantes).

**Figure 3** – Synthèse des dispositifs d'accompagnement de la transition agroécologique proposés.

Échanges groupés (81 %)	Constater et observer en collectif les essais mis en place, leurs résultats, en discuter, faire ainsi avancer les réflexions entre pairs.
Échanges individuels (50 %)	Établir du lien, de la confiance, et approfondir les enjeux individuels.
Apport de documents techniques (56 %)	Inspirer en montrant des exemples du terrain, fournir des références de base, informer des dynamiques.
Communication (63 %)	Diffuser pour accélérer la transition, avoir des références produites dans des contextes et conditions similaires, capitaliser pour accès au plus grand nombre.
Formations (69 %)	Apporter une expertise, un œil extérieur, un approfondissement d'un sujet.

3. Projet MENTAGRO (Santé mentale des agriculteurs en transition agroécologique) : <https://www.msa.fr/lfp/documents/98830/92244578/Projets+financés+-+AAP+Edition+2020>

Une autre spécificité du projet TASCII réside dans la compensation reçue par les agriculteurs pour faciliter la transition. Ils ne sont pas rémunérés et ne bénéficient pas de mesures agro environnementales territorialisées (MAET) comme c'est le cas dans d'autres groupes enquêtés. En revanche, Rives & Eaux du Sud-Ouest (ex CACG) réalise les semis directs grâce au matériel de la station expérimentale. Cette démarche est un avantage si l'on considère que les investissements sont l'un des principaux freins de la transition agroécologique pour les agriculteurs. En revanche, dans une démarche d'accompagnement *Learning by doing* (Kolb, 1984), la réalisation du semis direct par un tiers pose la question de l'appropriation de ce matériel spécifique par les AP.

Concernant les types d'accompagnement proposés, ils sont résumés en figure 3.

Dans le cadre du projet TASCII, les discussions en groupe occupent une place centrale. Le projet a également permis la création d'un groupe de discussion sur un réseau social dédié pour maintenir les échanges entre les animations. En revanche, l'apport en termes de formations formelles ou de documentation technique est relativement limité. Des interventions d'experts sont toutefois proposées. Les échanges individuels sont également moins fréquents. Cependant, le responsable de la station expérimentale connaît personnellement les membres du collectif, ce qui favorise les échanges individuels et informels, sans que ceux-ci ne soient capitalisés et mesurés. Ce point soulève la question de l'équilibre à trouver, en période de transition et d'incertitude, entre une démarche d'innovation complètement ouverte et ascendante et des apports descendants qui impactent les trajectoires des AP, mais qui ont l'avantage de leur apporter un point de vue assertif rassurant.

### Le projet TASCII

#### Résultats directs

#### Niveau de transition

Quand on analyse les niveaux de transition selon le cadre ESR : efficacité, substitution, reconception (Hill et MacRae, 1995), en comparant les SCII aux systèmes témoins, on note que les AP du projet TASCII sont davantage engagés dans une dynamique d'efficacité et de substitution que de reconception. En effet, le levier de différenciation des rotations culturales par rapport au système témoin n'est pas actionné. En termes de reconception, seuls les couverts varient dans quelques cas et certaines années. Les AP cherchent donc à intégrer les changements associés aux piliers de l'ACS dans des systèmes de culture existants, sans modification majeure (tableau 3).

Quand on s'intéresse au niveau de l'approche systémique adopté, on note que le niveau de transition atteint, tel qu'illustré par le nombre de leviers actionnés, est plus important à la station expérimentale de la Mirandette que dans les essais des AP. Cela se justifie facilement par le moindre risque encouru en station (tableau 4).

Le faible nombre de facteurs différenciant les systèmes témoins des SCII sous-tend que l'un des deux systèmes n'est pas en condition optimale. Par exemple, le passage en ACS combiné aux objectifs d'économie d'intrant peut entraîner le report de la destruction des couverts et donc de semis de la culture principale. Il peut également

conduire à choisir une autre variété de culture principale pour éviter les périodes de tension maximale sur la ressource en eau et à adapter la rotation culturale pour gérer des adventices. Le changement d'un faible nombre de levier entre le système témoin et le SCII indique soit i) que le SCII, ici en ACS, reprend le modèle témoin en appliquant une modification de faible envergure ; soit ii) que le SCII a été mis en condition optimale et le témoin n'est plus représentatif du modèle dominant de l'exploitation agricole et n'est pas en conditions optimale. Dans le cas i), l'expérimentation ne permet pas d'explorer l'innovation à son plein potentiel. Dans le cas ii) le comparatif est faussé. C'est en règle générale le cas i) qui est observé étant donné la difficulté de « reconception » des systèmes de culture qui engendre d'importants changements pour l'exploitation agricole. Cependant, nous observons que deux AP ont choisi de faire évoluer leur système témoin vers un modèle d'innovation intermédiaire en le passant du labour au TCS.

**Tableau 3 – Nature des leviers actionnés à la station expérimentale de la Mirandette sur les campagnes 2019-2022 et chez les agriculteurs pilotes (AP) de 2020 à 2022.**

Numéro de levier	Leviers	Modalité
1	Variété culture principale	Mirandette
2	Adaptation de l'espacement inter-rang	Tous
3	Adaptation de la densité de semis	Tous
4	Anticipation irrigation	Mirandette, AP2, AP3
5	<i>Couvert-diversité espèces</i>	Mirandette, AP5, AP2, AP3
6	Adaptation de la date de semis	Tous
7	Suivi tension	Tous
8	<i>Pratique d'une rotation</i>	Mirandette (A, B, C), AP3, AP5
9	Adaptation engrais	Mirandette, AP2, AP4, AP5

Légende : italique : levier mobilisé à la fois sur le témoin et le SCII ; non italique : levier mobilisé sur le SCII seulement.

**Tableau 4 – Part des leviers actionnés à la station expérimentale de la Mirandette sur les campagnes 2019-2022 et chez les agriculteurs pilotes (AP) de 2020 à 2022.**

Code parcelle	Irrigation	Leviers actionnés (%) <sup>4</sup>
A1 + A4	Goutte-à-goutte et couverture intégrale	100 %
B1	Enrouleur	100 %
C1	Enrouleur	89 %
D1	Enrouleur	89 %
AP1 SD	Enrouleur	33 %
AP2 SD	Enrouleur	67 %
AP3 SD	Enrouleur	67 %
AP4 SD	Enrouleur	44 %
AP5 SD	Enrouleur	56 %

4. Les leviers identifiés à l'échelle du système de culture pour la réduction des intrants sont listés dans le tableau 3.

Tableau 5 – Évaluation annuelle de l'accompagnement par les agriculteurs pilotes.

		Notation (/10)		
		2020	2021	2022
Atelier restitution-reconception	Campagne culturelle			
	Suivi général du projet	9,7	7,5	7,5
	Suivi de l'irrigation (sondes et bulletins)	8,2	7,5	7,5
	Ateliers de co-conception et de suivi-évaluation	9,7	6,3	6,3
Bout de champ <sup>5</sup>	Évaluation des résultats des essais de la campagne	8,6	-	7,5
<b>Moyenne</b>		<b>9,0</b>	<b>7,1</b>	<b>7,2</b>

5. Animation intégrant un tour des parcelles expérimentales en cours de campagne culturelle.

### Satisfaction des agriculteurs pilotes (AP)

Chaque animation proposée dans le dispositif d'accompagnement est évaluée par les AP. Le tableau 5 synthétise leurs retours.

La satisfaction des AP varie d'une campagne à l'autre, ce qui s'explique notamment par les rotations, les caractéristiques climatiques annuelles, voire une évolution des attentes des agriculteurs.

Globalement les AP sont relativement satisfaits de l'accompagnement et des essais menés. La transition est un processus long. L'ACS présente généralement des résultats plus faibles les premières années, le temps que les caractéristiques du sol s'améliorent comme en témoigne l'un des AP du projet : « Je suis intéressé depuis plusieurs années par l'ACS mais plutôt prudent de nature. Le projet TASCII était pour moi une très bonne opportunité pour mieux me rendre compte des résultats de l'ACS sur une parcelle de l'exploitation. Depuis la mise en place de l'essai en 2020, je vois déjà des effets sur la battance et l'érosion, mais il est encore trop tôt pour observer des résultats sur l'amélioration du sol ou les économies d'eau » AP3, polyculteur – éleveurs disposant de 100 ha de culture dont 50 ha irrigués (maïs, soja).

### Adoption de la pratique

Si nous devons juger l'adhésion à la transition agroécologique, nous pouvons nous baser sur l'évolution de la taille du réseau (nombre d'AP), l'augmentation du parcellaire et l'investissement. En termes de participants, deux AP et un agriculteur expert n'ont pas souhaité poursuivre l'ACS dans leur exploitation en raison de problématiques de gestion des activités. L'un d'eux explique que la production de maïs semence sur son exploitation agricole réduit ses disponibilités au mois de mai. Le décalage du SD, pour la croissance des couverts végétaux et le réchauffement adéquat du sol, fait du mois de mai la période privilégiée pour le semis direct. Cet AP a choisi de favoriser la production de maïs semence au mois de mai plutôt que le semis en SD. Le second s'est lancé vers des projets de méthanisation.

Cependant, deux des AP se sont associés à un troisième agriculteur, hors projet TASCII, pour la création d'une coopérative d'utilisation de matériel agricole (CUMA) pour l'achat d'un semoir direct, ce qui traduit une bonne adhésion à la démarche de transition.

### Résultats indirects

#### En interne

Les entretiens auprès des agriculteurs du collectif ont démontré l'importance de constituer un collectif. Les AP indiquent que la formation d'un petit groupe de parole leur permet de se rassurer dans cette période de transition

et d'incertitude qui nécessite l'acquisition de nouvelles compétences. Cette transition génère une certaine forme d'isolement. De plus, les AP reçoivent des remarques dubitatives ou négatives sur leur démarche innovante, remarques dont la répétition ne les laisse pas indifférents. L'appartenance au collectif permet de répartir la responsabilité endossée : « Je ne suis pas le seul à être dans la panade », « On peut en discuter ». Les sessions d'animation en présence et à distance et les moments de convivialité sont de visu des éléments clefs de l'accompagnement de la transition. Elles mobilisent des moyens importants, pas toujours au rendez-vous des projets, que cela soit en raison d'un défaut de dimensionnement initial du projet ou en raison de la disponibilité effective des équipes. Une réflexion a été menée en 2022 sur la composition des membres du groupe de conversation afin d'améliorer le sentiment de bienveillance et de sécurité et de fluidifier les échanges. Le groupe a été restreint aux pairs afin de limiter la sensation d'observation des membres par des personnes externes.

Ces échanges entre pairs, dont certains plus expérimentés, permettent de gagner en efficacité plus rapidement. En effet les producteurs prennent des risques conséquents en modifiant leurs habitudes dans un laps de temps limité : « Dans une vie, on a que quarante campagnes, donc quarante tests ». Le partage d'expérience apporte un gain de temps dans la démarche de transition en évitant certains écueils.

#### En externe

La station expérimentale de la Mirandette a été ouverte au public lors des journées portes ouvertes (soixante à soixante-dix participants en 2020 et en 2023). Elle a également accueilli des techniciens de coopérative, des groupes d'agriculteurs encadrés par la Chambre d'agriculture d'Indre et Loire (vingt agriculteurs) et des scientifiques. Des étudiants ont été formés dans le cadre du projet (institut universitaire de technologie d'Auch et lycée agricole St Christophe de Masseube). Le projet a utilisé différents moyens de communication, dont deux webinaires qui ont réuni trente personnes, et la publication de deux articles de vulgarisation et trois articles de presse. Comme indiqué plus haut, le projet TASCII s'intègre dans quatre réseaux. Les AP reçoivent également des visites sur leurs parcelles d'essai ou constatent que des agriculteurs s'arrêtent pour observer leurs parcelles. La démonstration par l'exemple est un facteur clef pour sensibiliser les agriculteurs moins engagés dans des démarches de transition. Ces activités de communication et ces essais contribuent à la transition agroécologique sans que l'on ne puisse mesurer leurs effets avec précision.

## Discussion

### Format des essais

Le format du dispositif expérimental proposé impacte les résultats obtenus. En effet, les essais sont menés sur de petites surfaces chez les AP (1 ha en moyenne). La taille restreinte des parcelles d'essais pousse les AP à apporter des améliorations conjointement sur leur témoin et leur SCII. La différenciation des systèmes est donc réduite pour des raisons pratiques.

D'autre part, la faible part de surface impliquée dans les essais présente à la fois l'avantage de limiter les risques économiques, et l'inconvénient de mobiliser des parcelles non prioritaires d'un point de vue économique. Les agriculteurs disposent de périodes de temps restreintes pour réaliser les opérations culturales. Ces périodes sont d'autant plus resserrées que les AP font appel à des entreprises de travaux agricoles pour certains travaux. La priorité est alors donnée aux plus grandes surfaces.

### Difficultés d'appréhension de la démarche systémique

Pour certains AP, l'approche systémique et l'actionnement de plusieurs leviers agronomiques simultanément posent problème car ils souhaitent pouvoir tirer des conclusions facilement des essais. Aussi, ont-ils tendance à rentrer dans une logique d'approche factorielle dans leurs opérations culturales en faisant varier le moins de facteurs possible.

### Représentativité des résultats

La représentativité des résultats présentés peut être questionnée sous trois angles méthodologiques.

D'une part, l'exercice d'enquête porte un biais entre les faits et leur mise en récit, elle-même dépendante de la personnalité de l'enquêté. L'analyse de données qualitatives fait l'objet d'interprétations subjectives, influencées par les caractéristiques et le parcours de la personne menant l'étude.

D'autre part, le projet TASCII n'est qu'un des éléments contribuant au cheminement des AP dans la transition. Chacun d'entre eux s'inscrit dans divers réseaux, s'informe et se forme. Le niveau d'innovation dont ils font preuve ne peut donc être attribué qu'au seul projet.

Finalement, les AP ne sont engagés dans la transition agroécologique que depuis 2019. Certains n'ont pas encore bouclé leur rotation culturale. Les années climatiques étaient particulièrement contrastées et donc les cultures de leurs rotations respectives n'ont été mises à l'épreuve que dans un contexte climatique particulier. Il est admis que la transition vers l'ACS nécessite une dizaine d'années avant de stabiliser les résultats. Aussi, ces résultats sont voués à évoluer dans le temps.

### Approfondir l'outillage de l'accompagnement

Dans le cadre du projet TASCII, nous relevons plusieurs leviers pour améliorer l'accompagnement proposé :

- proposer davantage d'animations avec un effort particulier sur le groupe de conversation, son dimensionnement, la nature des participants et les moyens associés ;
- diffuser davantage de documentation technique aux AP ;

- intégrer de nouveaux intervenants et agriculteurs experts au dispositif ;
- veiller à la prise en main des nouveaux outils ;
- mener une réflexion sur l'indemnisation du risque pris par les AP.

## Conclusion

Le projet TASCII vise à accompagner un groupe d'agriculteurs pilotes dans la transition agroécologique, en particulier vers l'agriculture de conservation des sols pour économiser les intrants, notamment l'eau. Il utilise un processus itératif de co-construction, de test et d'évaluation multicritère et participative des essais sur la ferme expérimentale de la Mirandette et chez des AP. Une observation participante permet de capitaliser les choix des agriculteurs et d'évaluer leur évolution. Le projet mène également une réflexion sur l'accompagnement régional de la transition agroécologique pour en tirer des enseignements. Les leviers de l'accompagnement comprennent la qualité de la facilitation et le transfert d'informations techniques, tandis que les freins sont structurels, économiques, logistiques et liés aux compétences d'animation. Le projet propose une démarche participative structurée et une analyse approfondie, mais moins de formations et de diffusion de documents techniques que d'autres projets similaires. Les résultats montrent que les agriculteurs utilisent principalement des leviers d'efficience et de substitution plutôt que de reconception, et que l'approche systémique peut être améliorée. Les agriculteurs sont globalement satisfaits de l'accompagnement, bien que le niveau d'adoption varie. Le projet contribue à la transition des agriculteurs, mais il est difficile d'attribuer tous les résultats au projet. Les parcelles utilisées dans le projet servent de vitrines pour les autres acteurs du territoire, mais leur impact est difficile à mesurer.

Le projet se poursuit pour la campagne 2024 et ambitionne d'élargir le réseau d'agriculteurs pilotes et experts, de densifier l'animation en présentiel et via le groupe de communication. Il est également prévu de créer des échanges avec d'autres projets et réseaux d'agriculteurs pilotes et d'augmenter le transfert de résultats techniques sous formats pédagogiques. ■

## EN SAVOIR PLUS

Bonnes pratiques pour l'eau du grand Sud-Ouest – Économiser l'eau d'irrigation grâce à l'agriculture de conservation des sols (projet TASCII), fiche projet (2023)

→ <https://bonnespratiques-eau.fr/2023/03/27/economiser-leau-dirrigation-grace-a-lagriculture-de-conservation-des-sols/>

TASCII et l'enseignement agricole – Témoignage d'Elwen LE BRAS, étudiant en génie biologique option agronomie à l'IUT d'Auch, sur sa participation au projet TASCII

→ <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=1lwZPN40bz8>

Programme TETRAE – Grandes cultures, irrigation et agroécologie : la ferme expérimentale de la Mirandette

→ <https://www.youtube.com/watch?v=0s3vd15SxOk>

**Annexe – Échelle d'analyse des niveaux de participation des acteurs sur les différents stades du projet**  
(l'échelle de 0 à 2 correspond au nombre de points croissants selon le niveau de participation indiqué à chaque ligne pour chaque étape).

Stade Niveau	Initiation du projet	Problématique traitée (objectifs individuels)	Système de culture	Choix des indicateurs	Suivi	Évaluation
0	Information et recrutement des agriculteurs après le montage du projet	Pas de définition d'objectifs individuels : les objectifs sont ceux du projet	Systèmes de cultures du projet	Indicateurs proposés par le projet	Pas de suivi	Pas d'évaluation
1	Consultation des agriculteurs avant de soumettre le projet	Proposition d'objectifs par l'animateur	Proposition de systèmes de cultures par l'animateur	Consultation des agriculteurs sur les indicateurs	Suivi effectué par l'agriculteur	Évaluation des essais avec évolutions mineures
1,5	Demande d'agriculteurs pour travailler sur la thématique	Demande d'agriculteurs de viser tel(s) objectif(s)	L'agriculteur définit son système de cultures pour l'essai	Co-construction des indicateurs avec l'animateur	Suivi accompagné par l'animateur	Évaluation des essais avec évolutions majeures possibles
2	Construction du programme ensemble	Co-construction d'objectifs	Co-construction des systèmes de cultures	Co-construction des indicateurs avec l'animateur et autres personnes ressources	Suivi groupé, en collectif	Tout l'accompagnement est évalué par les agriculteurs et évolution de l'accompagnement en fonction des résultats obtenus

## RÉFÉRENCES

- Agreste (2023). *Fiche territoriale synthétique RA 2020 « Gers »*. DRAAF Occitanie. Consulté sur : [https://draaf.occitanie.agriculture.gouv.fr/IMG/html/fts\\_ra2020\\_gers.html](https://draaf.occitanie.agriculture.gouv.fr/IMG/html/fts_ra2020_gers.html)
- Commission Locale de l'eau NRG, (2023). *SAGE Neste Rivières de Gascogne, État initial, Diagnostic, Synthèse, Atlas géographique*. Consulté sur : [https://sage-nrg.gers.fr/fileadmin/Site\\_SAGE/Ressources/SAGE\\_NRG\\_Etat\\_initial\\_Diag\\_Synthese\\_2023.pdf](https://sage-nrg.gers.fr/fileadmin/Site_SAGE/Ressources/SAGE_NRG_Etat_initial_Diag_Synthese_2023.pdf)
- DRAAF Occitanie (2022a). *Fiche territoriale synthétique Recensement Agricole 2020 « ASTARAC - 32 »*. Consulté sur : [https://draaf.occitanie.agriculture.gouv.fr/IMG/html/fts\\_ra2020\\_astarac\\_32.html#d%C3%A9marche-de-valorisation](https://draaf.occitanie.agriculture.gouv.fr/IMG/html/fts_ra2020_astarac_32.html#d%C3%A9marche-de-valorisation)
- DRAAF Occitanie (2022b). *Fiche RA 2020 - Irrigation – Territoire : Gers (32)*. <https://draaf.occitanie.agriculture.gouv.fr/fiches-territoriales-irrigation-ra2020-a8285.html>
- Hill, S.B., & MacRae, R.J. (1995). Conceptual framework for the transition from conventional to sustainable agriculture. *Journal of Sustainable Agriculture*(7)1, 81-87. [https://doi.org/10.1300/J064v07n01\\_07](https://doi.org/10.1300/J064v07n01_07)
- Kolb, D.A.(1984). *Experiential learning: experience as the source of learning and development*. Englewood Cliffs, New Jersey. Editions Prentice-Hall. 38 p.
- Lacaze, F., Audouin, E., Bonillo, C., & Lhuissier, L. (2024). Évaluation des performances des systèmes de cultures en ACS et du matériel d'irrigation. *Revue Sciences Eaux et Territoires*, 46, 8146, <https://doi.org/10.20870/Revue-SET.2024.45.8146>
- Rogers E.M. (1962). *Diffusion of innovations* (1st edition). New York. Éditions Free Press of Glencoe. 150 p.

## Le projet CARG'EAU accompagne la transition des exploitations vers des systèmes résilients et économes en eau

Fabienne GUYOT<sup>1</sup>, Lauriane MOREL<sup>2</sup>, Mireille BRUN<sup>3</sup>, Benoit LOUCHARD<sup>4</sup>, Rachel L'HELGOUALC'H<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Chambre d'agriculture Alpes de Haute-Provence, 04000 Digne les Bains, France.

<sup>2</sup> Chambre d'agriculture Bouches-du-Rhône, 13626 Aix-en-Provence Cedex 1, France.

<sup>3</sup> Chambre d'agriculture Provence-Alpes-Côte d'Azur, 13626 Aix-en-Provence Cedex 1, France.

<sup>4</sup> Chambre agriculture du Loiret, 3 avenue des droits de l'Homme, 45921 Orléans Cedex 9, France.

Correspondance : Mireille BRUN, [m.brun@paca.chambagri.fr](mailto:m.brun@paca.chambagri.fr)

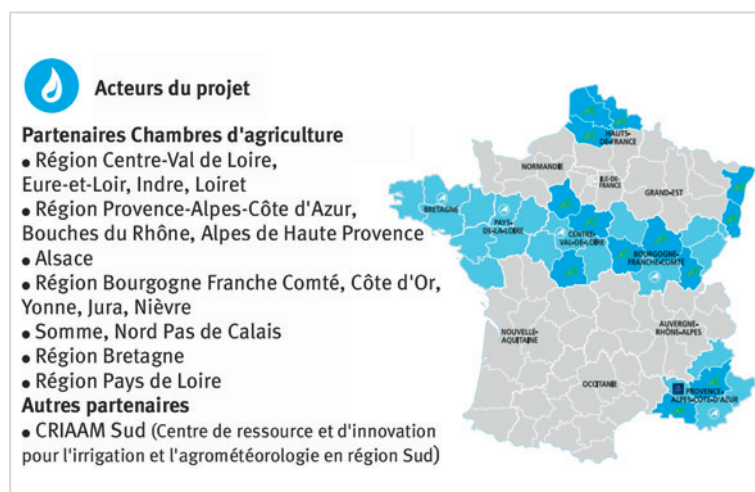
*Le projet CARG'EAU, piloté par la Chambre régionale d'agriculture Centre-Val de Loire, a permis de capitaliser un grand nombre de références pour accompagner le plus grand nombre d'agriculteurs irrigants et non-irrigants, à la transition vers des systèmes économes en eau dans un contexte de changement climatique. Cet article nous livre les principaux résultats des enquêtes menées sur le sujet auprès de soixante-quatre exploitations.*

Le projet Carg'eau (Capitalisation et appropriation des références sur la gestion quantitative de l'eau) a pour objectif d'accompagner les agriculteurs dans la transition vers des pratiques agricoles plus économes en eau, en réponse au changement climatique.

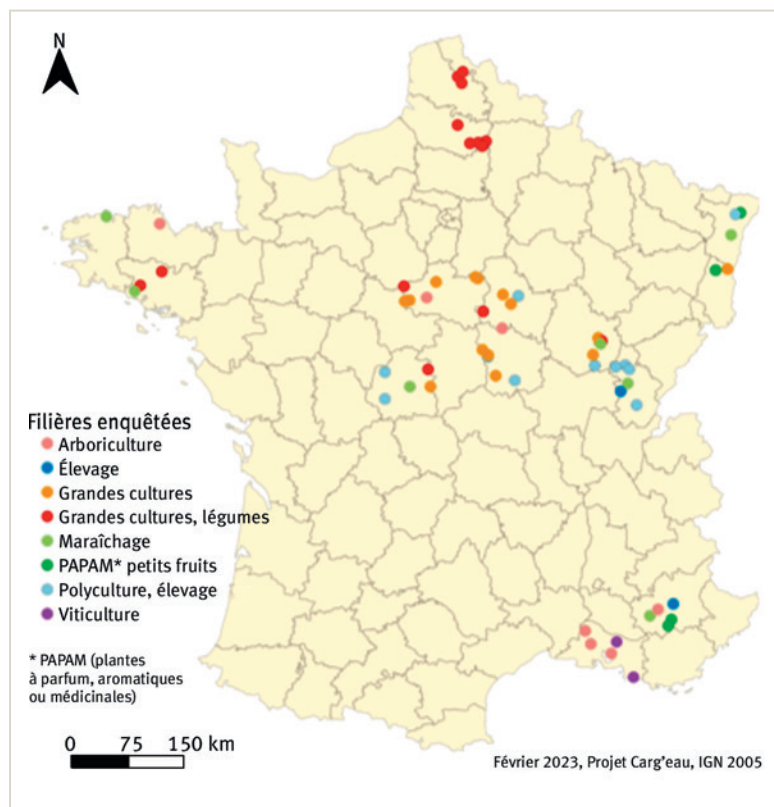
Mené de 2021 à 2023, le projet a été financé par le ministère en charge de l'agriculture dans le cadre des financements au développement agricole. Mobilisant quinze chambres d'agriculture volontaires dans sept régions (figure 1), il a permis de réaliser des diagnostics auprès de soixante-quatre exploitations, dont quarante-neuf pratiquant l'irrigation.

Les exploitations enquêtées ont été choisies pour être représentatives des régions du projet CARG'EAU (figure 2). Ces régions ont également la particularité de bénéficier de climats différents et de représenter cinq bassins hydrographiques français. Les exploitations enquêtées ont permis de couvrir les principaux types de filières agricoles en France métropolitaine (figure 1 et tableau 1)

Figure 1 – Répartition des quinze chambres d'agriculture impliquées dans le projet CARG'EAU.



**Figure 2 – Localisation des enquêtes CARG'EAU**  
(source : Projet Carg'eau – IGN 2005 – février 2023).



Les enquêtes ont pour but de mieux comprendre les défis spécifiques rencontrés par les agriculteurs en matière de gestion de l'eau et d'évaluer les leviers existants pour faire face au manque d'eau et aux changements climatiques. Réalisées par les conseillers des chambres d'agriculture partenaires du projet, elles sont aussi l'occasion d'échanges avec les exploitants sur les pratiques existantes chez leurs collègues ou dans d'autres régions pour faire face aux mêmes problématiques.

Les résultats de ces enquêtes auprès des exploitations pratiquant l'irrigation révèlent plusieurs tendances significatives. Les sources d'eau utilisées pour l'irrigation varient selon les régions, avec une prédominance des prélèvements dans les nappes souterraines (+ 50%) dans les régions du centre Val de Loire, en Alsace et dans une moindre mesure dans les Hauts de France. Les surfaces irriguées représentent en moyenne 39% des exploitations enquêtées, avec une part plus importante dans les cultures pérennes comme l'arboriculture et la viticulture.

Les exploitations utilisent une grande diversité de matériels d'irrigation, adaptés à leurs besoins spécifiques, avec une prédominance des canons sur enrouleurs (44%) suivis par le goutte à goutte et les systèmes de micro-irrigation. Pour le pilotage de l'irrigation, différentes méthodes et outils d'aide à la décision (OAD) sont utilisés : OAD d'évaluation de la réserve utile du sol de type Netirrig ou OAD de mesure « au champ » de types sondes tensiométriques ou capacitatives. Bien que de 30% à 70% des irrigants utilisent une OAD (chiffre variable selon les filières, voir tableau 1), pour la majorité d'entre eux, les économies d'eau sont difficilement quantifiables.

La connaissance des coûts liés à l'irrigation par les irrigants eux-mêmes n'est pas complète. Les éléments qui les intéressent sont les coûts énergétiques et les frais d'entretien. En revanche, ils n'évaluent pas ou peu les coûts liés à leur temps de travail et à la main d'œuvre. L'amortissement des investissements en matériel est une variable généralement bien intégrée dans le coût global de l'irrigation sur une exploitation.

À noter que 20% des exploitations enquêtées paient un forfait pour l'eau d'irrigation fournie par une gestion collective principalement dans la région Provence-Alpes-Côte d'Azur ou dans le Jura (association syndicale autorisée, syndicat ou société d'aménagement rural, coopérative d'utilisation de matériels agricole, droit de l'eau).

Bien que quinze des exploitations enquêtées ne disposent pas d'irrigation pour diverses raisons, une proportion importante envisage d'y accéder à l'avenir, par le biais de solutions telles que la création de retenues d'eau ou de forages.

Concernant l'adaptation au changement climatique, 72% des exploitations ont déjà modifié leurs pratiques, en décalant les dates de semis, en réduisant le travail du sol et en introduisant des cultures plus résistantes à la sécheresse (tableau 1). L'amélioration de la gestion de l'eau est considérée comme une priorité, avec un accent sur le choix de variétés résistantes et l'amélioration de la qualité des sols.

Les agriculteurs expriment un besoin d'accompagnement pour optimiser leur gestion de l'eau et de l'irrigation, notamment en matière d'information sur les nouvelles technologies et les variétés adaptées, ainsi que sur les démarches réglementaires et financières pour la création de nouvelles ressources en eau.

Enfin, 77% des exploitations enquêtées ont des projets en lien avec l'irrigation, allant de l'acquisition de nouveau matériel à l'optimisation des systèmes existants, dans le but de diversifier les productions et de sécuriser les rendements face aux conditions climatiques changeantes. ■

## EN SAVOIR PLUS

Le rapport complet des diagnostics Carg'eau est en ligne sur le site des chambres d'agriculture Val de Loire :

<https://centre-valde Loire.chambres-agriculture.fr/ird/ird-projets-rd-innovation/projet-casdar-cargeau-2021-2023/>

Au-delà des diagnostics réalisés, le projet CARG'EAU a abouti à d'autres actions :

- des simulations climatiques sur l'évolution de la ressource en eau pour les sept régions partenaires ;
- une base de données interrégionale et interfilières, sous forme d'espace collaboratif, capitalisant les références sur cinq volets (agronomie, rétention-stockage de l'eau dans les sols, infrastructures agro-écologiques et innovations techniques, matériel et pilotage de l'irrigation) ;
- une offre d'accompagnement « faire les bons choix ».

Six posters et six vidéos détaillant les principaux enjeux et résultats du projet sont consultables sur ce même site.

**Tableau 1** – Synthèse des principaux résultats de l'enquête réalisée dans le cadre du projet CARG'EAU auprès de 64 exploitations.  
En caractère gras : les éléments marquants de l'enquête.

Filières enquêtées	Nombre d'exploitations concernées	Surfaces irriguées	Matériel d'irrigation	Outils de pilotage	Projets liés à l'irrigation	Changements de pratiques	Leviers envisagés
Arboriculture	7	100 % des surfaces (hors Bretagne, 70 %).	<b>70 % goutte à goutte.</b> Micro asperseur et asperseur rotatif.	<b>70 % avec des sondes tensiométriques ou capacitatives.</b>	Renouvellement de matériel. Recours à OAD (dendromètre).	<b>Cultures moins gourmandes en eau</b> en région Provence-Alpes-côte d'Azur surtout (amandiers, grenadiers par exemple, grandes cultures au lieu des vergers). OAD** et irrigation localisée.	OAD** sur irrigation.
Viticulture	3	Irrigation selon les cahiers des charges (interdit pour l'AOC en Alsace).	<b>Goutte à goutte de surface</b> principalement	33 % avec des sondes capacitatives.	Absence.	<b>Maintien de l'humidité par l'enhherbement.</b>	Porte greffe et cépages plus résistants. <b>Travail sur l'éclimage (ombrière).</b>
Maraîchage	8	87 % des exploitations.	<b>63 % de goutte à goutte de surface.</b> Micro asperseur et canon enrouleur pour légumes de plein champ primeurs.	37 % avec des sondes tensiométriques ou capacitatives.	<b>Accéder à l'irrigation (50 %) ou développer le réseau.</b>	37 % pas de changement. Optimisation de l'irrigation OAD**.	<b>Extension surfaces irrigables.</b> Choix variétal. Aspersion sous plantes. <b>Écran d'ombrage sous serre/ombrière.</b>
Plantes aromatiques à parfum et médicinales, petits fruits	4	75 % des exploitations.	<b>100 % goutte à goutte de surface</b> (sauf canon enrouleur sur lavandin)	33 % avec des sondes capacitatives.	<b>Développement irrigation, nouveau matériel.</b>	<b>Maintien de l'humidité par paillage.</b> Pas de changement.	<b>Variétés plus résistantes.</b> Optimisation et développement de l'irrigation.
Grandes cultures et légumes plein champ	15	80 % des exploitations et 35 % de la SAU* irriguée (légumes surtout).	<b>100 % canon enrouleur.</b>	33 % avec des sondes ou OAD**.	<b>Nouveau matériel (rampe).</b> 46 % sans projet.	<b>Augmentation de l'irrigation. 47 % pas de changement.</b> Couverture des sols. Arrêt de certaines cultures (endives).	<b>Diversification : valeur ajoutée.</b> OAD** pour l'irrigation.
Garnes cultures	15	66 % des exploitations 56 % de la SAU* irriguée.	50 % enrouleur. Rampe et pivot.	<b>40 % avec des sondes ou OAD**.</b>	<b>47 % création d'une nouvelle ressource en eau.</b> Nouveau matériel (pivot, rampe) pour 50 % des irrigants.	<b>47 % changement d'assolement pour des cultures moins gourmandes en eau.</b> Choix de variétés moins précoces.	<b>Variétés et cultures plus résistantes avec débouchés et productivités.</b> Diversification (valeur ajoutée). Modification du travail du sol (couverture et réserve utile).
Polyculture élevage	13	<b>43 % des exploitations n'ont pas d'accès à l'eau.</b> Surfaces irriguées faibles (31 % de la SAU* sur fourrages et maïs ensilage).	<b>87 % canon enrouleur.</b>	Absence (météo connectée).	<b>Accompagnement technique et soutien.</b> Accès à l'irrigation.	<b>Réduction de la surface en maïs pour des cultures plus résistantes</b> (sorgho, tournesol, légumineuses). Modification des cultures fourragères (dactyle au lieu de ray-grass). Diversification et allongement des rotations. <b>Changement de pratique : sous couvert, limiter le surpâturage.</b>	Nouvelles cultures adaptées. <b>38 % développer ou accéder à l'irrigation.</b> Diversification/valeur ajoutée.

\* SAU : surface agricole utile ; \*\* OAD : outil d'aide à la décision.



# L'ÉVALUATION À L'ÉCHELLE TERRITORIALE D'AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES POUR LES TERRITOIRES AGRICOLES PAR L'ANALYSE DE CYCLE DE VIE

*Cette troisième partie explore l'évaluation à l'échelle territoriale d'aménagements hydrauliques pour les territoires agricoles par l'analyse de cycle de vie.*

- 73 Application de l'analyse de cycle de vie aux infrastructures hydrauliques : retours d'expérience de deux sociétés d'aménagement régional**  
*Agata SFERRATORE, Nicolas GÉHÉNIU*
- 77 Évaluer les performances environnementales de scénarios d'aménagement d'irrigation dans un contexte de changement climatique. Apports de l'analyse du cycle de vie territoriale**  
*Nicolas ROGY, Agata SFERRATORE, Nicolas GÉHÉNIU, Éléonore LOISEAU*





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.

## Application de l'analyse de cycle de vie aux infrastructures hydrauliques : retours d'expérience de deux sociétés d'aménagement régional

Agata SFERRATORE<sup>1</sup>, Nicolas GÉHÉNIU<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Société du Canal de Provence (SCP), 13182 Aix-en-Provence Cedex 5, France.

<sup>2</sup> BRL Ingénierie, 1105 Av. Pierre Mendès France, 30000 Nîmes, France.

Correspondance : Agata SFERRATORE, [Agata.SFERRATORE@canal-de-provence.com](mailto:Agata.SFERRATORE@canal-de-provence.com)

*La Société du Canal de Provence et BRL Ingénierie sont deux sociétés d'aménagement régional, basées respectivement en Provence et en Occitanie et spécialisées dans la conception, la réalisation et la gestion de grands ouvrages hydrauliques. Toutes deux furent membres et partenaires de la chaire ELSA-PACT, dont l'objectif était de promouvoir et diffuser le concept d'analyse de cycle de vie auprès des acteurs publics et privés des territoires. L'évaluation des impacts des projets d'aménagement hydraulique revêt donc une importance particulière pour l'accompagnement de leurs projets, comme en témoignent deux de leurs experts.*

### Comment avez-vous eu connaissance de la méthode ACV ?

Nicolas GÉHÉNIU (NG)

*Chef de projet en infrastructure hydraulique, BRL Ingénierie*

À l'instar de la Société du Canal de Provence (SCP) et d'autres partenaires industriels (comme SUEZ par exemple), BRL Ingénierie est membre fondateur et partenaire de la chaire ELSA-PACT (encadré 1). De 2014 à 2023, la chaire a travaillé sur le thème de l'application de l'analyse du cycle de vie (ACV) au domaine de l'eau et de l'agriculture. Nous avons pu réaliser une montée en compétence progressive sur cette méthode d'évaluation environnementale.

Agata SFERRATORE (AS)

*Chef du projet Stratégie Bas Carbone et expert ACV, Société du Canal de Provence*

À l'époque, l'ACV était peu connue dans notre métier d'aménageur hydraulique. Au lancement de la chaire, il a été difficile de l'appliquer telle quelle, car cela nécessite à la base un certain degré de connaissance. L'appui de la chaire a été fondamental pour franchir le pas !

### Après dix ans de pratique, comment l'ACV est utilisée au sein de vos entreprises ?

**AS** – Nous avons commencé par des stages, qui ont eu pour objectif de faire une ACV focalisée sur des parties de nos aménagements. Cela a débuté par une analyse des techniques de pose des canalisations, des stations de pompes et des réservoirs.

**NG** – Il s'est agi aussi de récolter des données de terrain qui ont permis de renseigner l'inventaire nécessaire pour réaliser chaque aménagement (le temps des engins de chantier, les volumes de béton utilisés, les longueurs de canalisations et les quantités de matière première par exemple), puis de décrire leur fonctionnement (l'énergie requise pour le fonctionnement d'un réseau d'eau).

**AS** – Toutes ces données nous ont ensuite permis de modéliser les impacts d'un aménagement entier, qui est assemblé par ses composantes (telles que les longueurs de canalisations, la nature des travaux, le nombre de stations de pompage).

**NG** – Cela nous a permis de comparer des variantes, comme par exemple un tracé plus long qui contourne un massif, versus le creusement d'une galerie dans la montagne. L'objectif est d'identifier quelle variante a le moins d'impacts.

**AS** – On peut s'interroger aussi sur le choix de la ressource en eau que l'on prélève : c'est une forme de variante ! Opter pour le pompage dans une nappe souterraine locale ou mettre en place une infrastructure pour acheminer l'eau par gravité depuis plus loin représente deux options très différentes que l'ACV permet de comparer.

### Comment l'ACV est acceptée par les personnes non initiées ?

**AS** – Au sein de la SCP, nous fonctionnons en mode projet, et j'étais déjà responsable des parties environnementale et réglementaire des projets qui m'étaient confiés. Il m'a donc été facile de présenter l'ACV à l'équipe projet comme un outil supplémentaire d'aide à la décision.

La majorité de nos projets sont soumis aux études d'impact et l'ACV est un outil complémentaire. Nous utilisons l'ACV aussi pour calculer les émissions de CO<sub>2</sub> associées à un futur projet. Cela permet de répondre aux exigences du Code de l'Environnement pour les projets soumis à évaluation environnementale.

**NG** – Chez BRL, la complexité de la méthode ACV demeure encore un obstacle à son utilisation plus large. De nombreux collègues considèrent cette méthode comme une « boîte noire ». Pourtant, la véritable puissance de cette méthode réside dans sa capacité à comparer des éléments disparates, comme « des choux avec des carottes ». Les résultats de l'ACV ne sont pas toujours faciles à interpréter, et le soutien de la chaire ELSA-PACT a été essentiel pour les analyser et garantir leur crédibilité scientifique.

### Qu'est-ce que l'ACV apporte de plus par rapport aux approches classiques ?

**NG** – L'un des grands atouts de l'ACV est son approche globale et cycle de vie. L'approche globale permet de quantifier l'impact global d'un projet d'aménagement local. Par exemple, l'ACV permet de tenir compte de l'impact environnemental de l'extraction du minerai de fer en Afrique ou en Amérique du Sud, minerai qui est ensuite utilisé pour fabriquer les canalisations en fonte que l'on pose ici en France.

**AS** – Parmi les indicateurs d'impact pris en compte dans une ACV, figurent les émissions de gaz à effet de serre (GES). Ainsi, en réalisant une ACV, on effectue aussi un bilan carbone du projet. Cette approche est particulièrement utile, car les émissions de GES sont de plus en plus prises en compte. En cela, l'ACV est à même de contribuer à la politique de responsabilité sociétale d'entreprise (RSE).

### Comment l'ACV peut venir en aide aux démarches RSE ?

**AS** – C'est ce que l'on appelle l'ACV « organisationnelle ». Elle est encadrée par la norme ISO/TS 14072. Cela consiste à considérer l'entreprise comme l'objet du périmètre d'inventaire, et calculer toutes les émissions provenant de son fonctionnement. Cela va des ramettes de papier jusqu'aux infrastructures réalisées, en passant par le parc automobile et le restaurant d'entreprise. Dans notre cas, les principaux impacts liés à notre activité sont liés aux matières premières qui composent nos infrastructures (canalisations métalliques en particulier), ainsi qu'à l'énergie utilisée par les stations de pompage. Cela trace la voie pour les thèmes à cibler prioritairement lors de la mise en place d'un plan d'action visant une transition « bas carbone ».

**NG** – De nombreuses entreprises ont recours à un bilan des GES ou un bilan carbone, mais l'ACV aussi permet de calculer l'empreinte environnementale du périmètre d'activité d'une entreprise. L'avantage de l'ACV est qu'elle ne se cantonne pas aux émissions GES ; elle prend en compte d'autres impacts comme l'impact sur la couche d'ozone, la biodiversité, la toxicité humaine ou l'écotoxicité.

**AS** – On pourrait dire que l'ACV représente une avancée par rapport au bilan carbone, car elle permet de prendre en compte d'autres impacts que les seuls GES, dont notamment des impacts en lien avec les limites planétaires<sup>1</sup>. En utilisant une ACV pour simuler des scénarios de transition bas carbone, on peut s'assurer de choisir le scénario de moindre impact en termes d'émissions de GES, mais de vérifier au passage de ne pas avoir aggravé d'autres catégories d'impact telle que la consommation de matières premières.

### Quelles sont les limites de l'ACV ?

**AS** – En plus de la difficulté initiale à se familiariser avec la méthode, qui peut être levée par une formation de qualité, des obstacles persistent en raison des bases de données qui fournissent les facteurs d'émissions. Ces bases de données ne sont pas assez précises pour modéliser certains de nos principaux impacts. Si l'on prend l'exemple des canalisations : la base de données globale modélise l'acier ou la fonte forgés, avec une grande quantité d'impacts liés à l'énergie pour la mise en forme d'un produit générique. Or, on sait par exemple que les canalisations en fonte sont coulées dans un moule ; leur fabrication nécessite moins d'énergie que ce qui est indiqué dans la base de données pour un produit en fonte quelconque.

**NG** – Un travail est donc à mener avec les fabricants de canalisation pour renseigner au plus juste les impacts !

1. L'objectif des limites planétaires est de définir des seuils au-delà desquels les activités humaines risquent de causer des dommages irréversibles à l'environnement et de mettre en péril les conditions favorables à la vie sur Terre. Ces limites englobent différents aspects de l'environnement, dont l'utilisation de l'eau douce.

## Quelles sont les perspectives d'application de l'ACV dans le futur ?

**NG** – Le développement par les fabricants de canalisations de fiche de déclaration environnementale et sanitaire (FDES) est une solution possible pour avoir des facteurs d'émissions plus précis. Ces fiches sont élaborées via une ACV sous la responsabilité des fabricants d'un produit. Elles permettent d'avoir les données concernant les impacts du produit, sans forcément dévoiler des informations sensibles relevant du secret industriel, comme cela pourrait être le cas avec la quantité d'énergie qui est utilisée pour le fabriquer. Pour l'instant, seulement quelques producteurs disposent de FDES. De plus, cela ne concerne que les canalisations de petits et moyens diamètres utilisées dans le bâtiment. Mais on espère que leur diffusion sera généralisée aux grandes infrastructures, telles que nos réseaux de transfert d'eau, ainsi que les barrages qui mobilisent la ressource en eau.

**AS** – Une autre perspective intéressante pour l'ACV est son application à l'échelle territoriale (voir l'exemple illustré dans l'article de Nicolas Rogy *et al.* (2024), où vont varier à la fois les infrastructures mises en place et l'usage agricole qui en découle) pour évaluer les impacts de différents scénarios d'aménagement sur un territoire donné. Cela implique de collaborer avec d'autres parties prenantes pour envisager l'évolution de ce territoire avec différents types d'aménagements, puis de calculer les services rendus et les impacts associés, afin de choisir la trajectoire de développement de moindre impact. ■

### Encadré 1 – La chaire ELSA-PACT.

La chaire ELSA-PACT est le fruit d'une collaboration entre chercheurs, enseignants et entreprises sur la pensée « cycle de vie » dans les domaines de l'eau, de l'agro-alimentaire, des produits résiduels organiques et des énergies renouvelables.

Elle a été lancée en 2014 avec pour objectif de promouvoir et diffuser l'analyse du cycle de vie (ACV) dans les entreprises et auprès des décideurs publics et privés. Portée par INRAE en association avec les autres membres académiques du pôle de recherche ELSA, la chaire a été à l'origine d'un large éventail de productions scientifiques, d'actions de vulgarisation et d'activités de formation en lien avec l'éco-conception et l'évaluation des performances environnementales et sociales appliquées aux produits, services, technologies, villes, territoires et filières, d'aujourd'hui et de demain.

En lien avec les sociétés d'aménagement régional telles SCP et BRL, ELSA-PACT a notamment contribué à l'opérationnalisation des approches territoriales en ACV, et à leur développement méthodologique à travers le financement de la thèse de Nicolas Rogy (2020-2023)<sup>2</sup> portant sur l'évaluation des performances environnementales de scénarios d'irrigation dans un contexte de changement climatique.

La chaire ELSA-PACT a pris fin en décembre 2023. Elle a permis de créer de nombreux supports pour partager les connaissances acquises, toujours disponibles sur le site [www.elsa-pact.fr](http://www.elsa-pact.fr). De plus, plusieurs sessions de formations continues en ACV sont proposées chaque année au catalogue des formations de l'Institut Agro de Montpellier (cf. <https://www.institut-agro-montpellier.fr/formations/catalogue-des-formationen/recherche-d-une-formation>).

2. Thèse co-financée par la chaire ELSA-PACT et la région Occitanie.





## Évaluer les performances environnementales de scénarios d'aménagement d'irrigation dans un contexte de changement climatique. Apports de l'analyse du cycle de vie territoriale

Nicolas ROGY<sup>1</sup>, Agata SFERRATORE<sup>2</sup>, Nicolas GÉHÉNIU<sup>3</sup>, Éléonore LOISEAU<sup>1</sup>

<sup>1</sup> INRAE, UMR ITAP, 34196 Montpellier Cedex 5, France.

<sup>2</sup> Société du Canal de Provence (SCP), 13182 Aix-en-Provence Cedex 5, France.

<sup>3</sup> BRL Ingénierie, 30000 Nîmes, France.

Correspondance : Éléonore LOISEAU, [eleonore.loiseau@inrae.fr](mailto:eleonore.loiseau@inrae.fr)

*Le changement climatique exerce une influence significative sur les performances environnementales des scénarios d'aménagement hydraulique pour l'irrigation des cultures. L'évaluation environnementale de ces scénarios, à l'aide de l'analyse du cycle de vie territoriale (ACV-T), permet d'identifier de potentiels compromis entre services rendus et impacts environnementaux. L'étude d'un cas d'étude fictif dans le Sud de la France, comparant des scénarios avec et sans projets d'irrigation, met en lumière ces compromis.*

### Introduction

L'agriculture doit faire face au double enjeu de réduire ses impacts sur l'environnement tout en s'adaptant aux changements globaux. Dans ce contexte, l'irrigation est souvent présentée comme une stratégie d'adaptation au changement climatique, et peut nécessiter la mise en place de grandes infrastructures pour sécuriser les apports en eau sur les territoires agricoles. Ces aménagements peuvent générer des impacts environnementaux conséquents, et il est nécessaire de mener une évaluation environnementale *ex ante* pour identifier les scénarios « sans regrets », minimisant les impacts tout en maximisant les services rendus par ces aménagements sur l'ensemble de leur durée de vie. Cette évaluation peut être réalisée en mobilisant le cadre méthodologique de l'analyse du cycle de vie.

### Qu'est-ce que l'analyse du cycle de vie (ACV), et comment est-ce adapté à l'évaluation environnementale des territoires ?

L'ACV est une méthode d'évaluation environnementale normalisée (ISO 14040 et 14044) et internationalement reconnue. Elle permet de quantifier les impacts envi-

ronnementaux d'un produit ou d'un service selon une perspective cycle de vie (i.e., de l'extraction des matières premières à la gestion des déchets) et multicritères. Une quinzaine de catégories d'impacts environnementaux sont considérées et peuvent être regroupées en dommages sur trois aires de protection, qui sont la santé humaine, la qualité des écosystèmes et l'épuisement des ressources. Ces impacts sont quantifiés au regard d'un service rendu afin de comparer des alternatives sur la base d'une même référence, i.e. la fonction du système étudié.

Initialement conçue pour évaluer des systèmes à des échelles « micro », le cadre méthodologique de l'ACV a été adapté pour quantifier les performances environnementales des territoires, et de scénarios d'aménagement associés. Un territoire peut être défini comme une interface entre un espace géographique et un groupe de parties prenantes qui le gèrent, l'utilisent et le développent. Un territoire a pour principale caractéristique d'être un système multifonctionnel rendant un ensemble de services pouvant être regroupés en grandes fonctions (ex. : fonction résidentielle, économique ou culturelle). Afin de tenir compte de cette spécificité, une des principales adaptations de l'ACV territoriale (ACV-T) repose

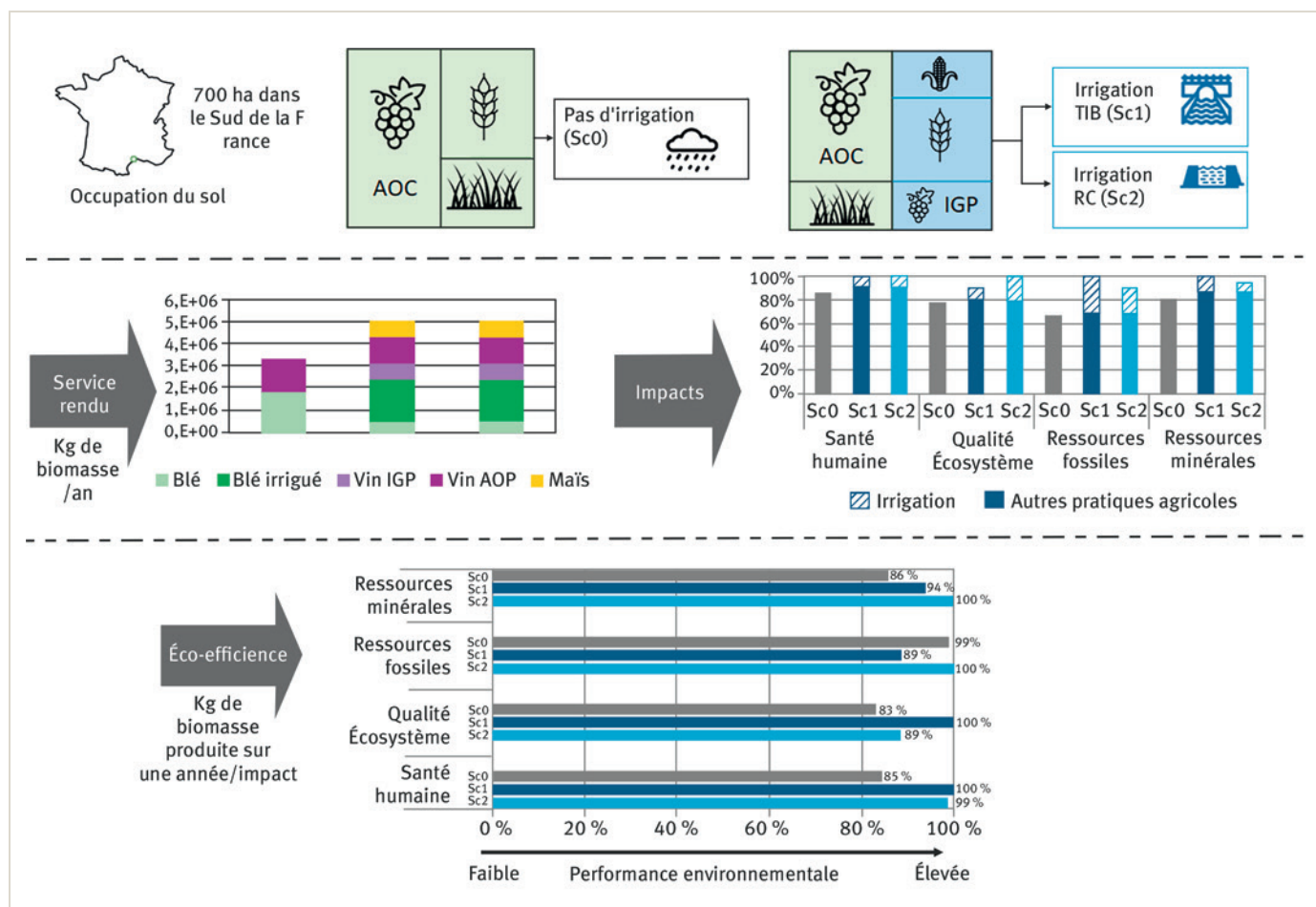
sur la quantification d'une éco-efficience pour un scénario d'aménagement donné, basée sur un ratio entre les services rendus par le scénario étudié et les impacts environnementaux générés. Appliquer l'ACV-T sur des scénarios d'aménagement permet d'identifier de potentiels transferts de pollution entre territoires, entre enjeux environnementaux et entre services rendus.

**Quels apports de l'ACV territoriale pour comparer les performances environnementales de scénarios d'aménagement hydraulique ?**

Le cadre de l'ACV-T a été appliqué sur un cas d'étude théorique, une zone agricole de 700 ha située dans le Sud de la France. L'étude menée dans le cadre d'une thèse (Rogy, 2023) avait pour objectif de comparer les performances environnementales de scénarios d'aménagement avec ou sans projet d'irrigation (figure 1). Dans le cas d'un aménagement hydraulique, deux infrastructures différentes ont été étudiées, un transfert interbassin et une retenue collinaire. Le transfert interbassin (TIB) consiste en une conduite principale de

100 km enterrée entre la station de pompage et la zone irriguée. La retenue collinaire, d'une superficie de 9 ha, est approvisionnée par les ressources en eau du bassin versant. L'apport de l'irrigation permet de diversifier les cultures présentes sur la zone agricole, et d'augmenter les rendements. La surface agricole sans irrigation est occupée à 50% par de la vigne AOC (appellation d'origine contrôlée), 40% de blé et 10% de jachère. Avec irrigation, 10% de la surface en vigne AOC est convertie en IGP (indication géographique protégée) avec des plus hauts rendements permis par l'irrigation (dépassant le cahier des charges de l'AOC), 30% des surfaces sont désormais occupées par du maïs irrigué, 10% par du blé irrigué, et le reste par de la jachère. Pour chacun des trois scénarios étudiés, plusieurs ratios d'éco-efficience sont quantifiés, correspondant à différents dommages environnementaux pour un même service rendu, ici la quantité totale de biomasse produite sur une année. En termes de dommages, il s'agit de ceux habituellement quantifiés en ACV, i.e. i) la santé humaine, ii) la qualité des écosystèmes et iii) l'épuisement des ressources fossiles et minérales.

**Figure 1** – Comparaison des performances environnementales de scénarios d'aménagement agricole avec ou sans mise en place d'infrastructure hydraulique (TIB = transfert Interbassin, RC = retenue collinaire) sur un cas d'étude théorique illustrant le type de résultats fournis pouvant être obtenus par l'ACV-T (évaluation à affiner sur un cas réel en considérant le contexte local). La performance environnementale est calculée sur la base d'un ratio d'éco-efficience entre la quantité totale de biomasse produite sur une année donnée et un dommage environnemental calculé à l'aide de la méthode IMPACT World+. Afin d'afficher les résultats d'éco-efficience sur un même graphique, ceux-ci sont normalisés par rapport au scénario le plus performant (à 100%).



Les résultats montrent que dans tous les cas, le scénario sans irrigation est moins performant que les scénarios basés sur l'implantation de projets hydrauliques. Les impacts environnementaux supplémentaires générés par ces projets sont compensés par une production plus importante de biomasse (figure 1). À noter que les étapes du cycle de vie de la production agricole hors irrigation contribuent de manière significative aux impacts environnementaux des scénarios étudiés, et que ceux générés par la mise en place de l'irrigation sont moindres sur toutes les catégories étudiées. Les résultats d'éco-efficience sont plus contrastés entre les deux scénarios avec irrigation. L'analyse du nexus eau-énergie-infrastructure<sup>1</sup> met en évidence les compromis environnementaux entre les deux projets d'aménagement hydraulique. D'une part, le transfert interbassin permet d'utiliser une ressource en eau provenant d'une localisation ne présentant pas de stress hydrique, mais nécessite une forte consommation de matériaux et d'énergie pour acheminer l'eau sur une grande distance. D'autre part, la retenue collinaire mobilise moins de ressources minérales et fossiles tout en s'appuyant sur une ressource en eau plus rare, et une occupation de l'espace plus importante. Les performances des scénarios dépendent fortement du contexte local (comme la disponibilité en eau ou la localisation des ressources), et la démarche d'évaluation doit intégrer les contraintes territoriales pour identifier le scénario le plus éco-efficace.

Cette étude fictive souligne l'intérêt de l'ACV territoriale pour éco-concevoir des scénarios d'aménagement. Elle permet d'apporter des éléments objectifs sur les compromis entre services rendus et impacts environnementaux générés par des scénarios d'aménagement territorial. La production de biomasse est utilisée pour illustrer l'intérêt du concept d'éco-efficience, et d'autres services notamment en lien avec l'économie peuvent être quantifiés. Pour identifier les scénarios « sans regret », et analyser l'opportunité même de construire des infrastructures à longue durée de vie, il est nécessaire d'intégrer des approches prospectives tenant compte de l'évolution de l'environnement. Dans le cadre d'aménagement hydraulique, les effets du changement climatique peuvent impacter les performances de projets sur le moyen-long terme, notamment sur des territoires agricoles.

### Dans quelle mesure les effets du changement climatique affectent les performances environnementales des scénarios d'irrigation ?

Le changement climatique peut affecter les systèmes agricoles de différentes manières. La hausse des températures, la modification des régimes de pluie, ou l'augmentation des aléas climatiques (ex. : gel, grêle, ou vague de chaleur) peuvent par exemple impacter de manière significative les rendements agricoles. Il semble important de prendre en compte ces effets lors de l'évaluation environnementale de scénarios d'aménagement hydraulique reposant sur la mise en œuvre d'infrastructures à longue durée de vie (cinquante ans minimum) pour sécuriser les apports en eau de territoires agricoles.

Une évaluation dynamique et prospective des performances environnementales d'un scénario d'irrigation dans un contexte de changement climatique permet ainsi d'analyser leur évolution, et de déterminer si les résultats d'une comparaison de scénarios d'aménagement avec ou sans infrastructure d'irrigation sont maintenus ou non dans le temps.

Dans cet objectif, un couplage innovant entre le modèle de croissance de culture AquaCrop<sup>2</sup>, développé par la FAO<sup>3</sup>, et l'ACV-T a été mis en œuvre toujours sur le même cas d'étude théorique, une zone agricole dans le Sud de la France. AquaCrop permet de simuler les rendements et les besoins en eau de différentes cultures dans un contexte de changement climatique. Ce couplage a permis de comparer l'évolution des performances environnementales de deux scénarios, un scénario sans irrigation occupé par 90 % de blé et 10 % de jachère, et un scénario irrigué par un transfert interbassin permettant de cultiver 30 % de maïs irrigué, 60 % de blé irrigué (reste 10 % en jachère). Les éco-efficacités sont quantifiées sur un pas de temps annuel en prenant en compte un seul service rendu, la production annuelle de biomasse, et plusieurs catégories d'indicateurs d'impact dont le changement climatique, l'eutrophisation aquatique, l'utilisation des ressources minérales et la raréfaction des ressources en eau. Le scénario RCP (*Representative Concentration Pathway*) 8.5 défini par le GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) a été sélectionné pour simuler le climat futur. Il s'agit du cas le plus pessimiste en termes d'évolution des émissions de gaz à effet de serre, permettant d'étudier des scénarios extrêmes.

Les résultats présentés dans la figure 2 montrent tout d'abord que les performances environnementales d'un scénario sont affectées par le changement climatique, avec des effets plus ou moins marqués selon la catégorie d'impact sélectionnée.

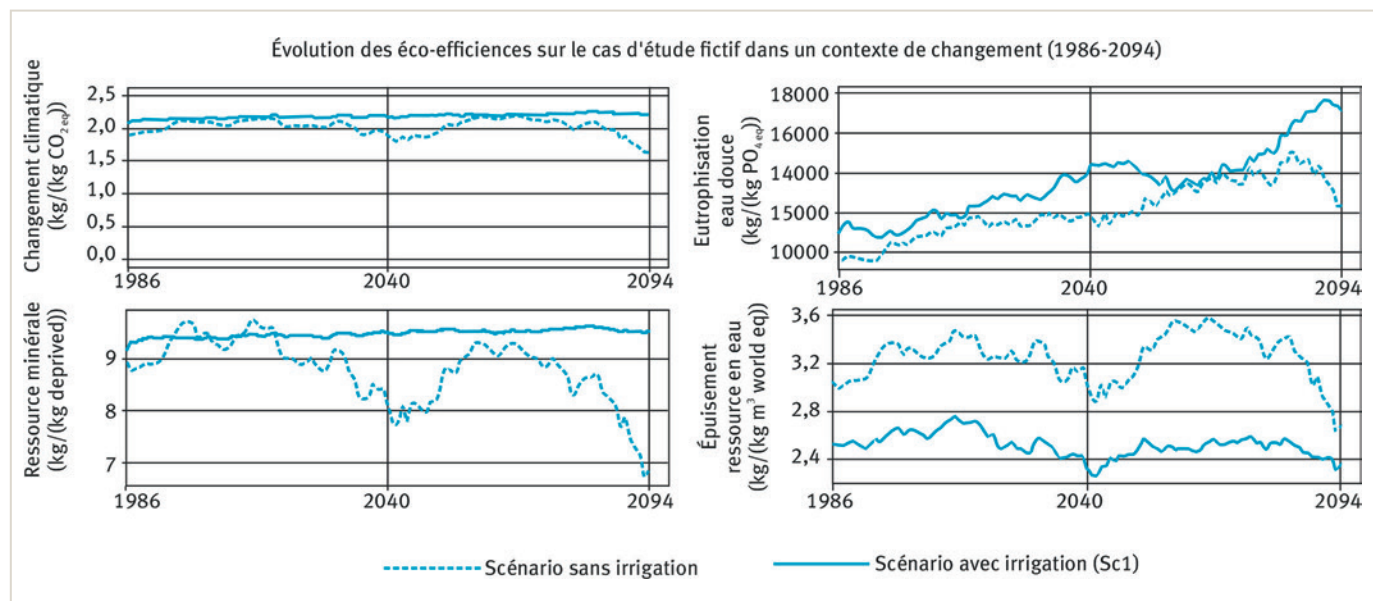
Pour le scénario avec irrigation, les performances environnementales ont tendance à augmenter dans le temps pour les éco-efficacités quantifiées pour les catégories d'impact « changement climatique », « eutrophisation » et « utilisation des ressources minérales ». En absence de stress hydrique, les rendements augmentent en raison de l'augmentation de la concentration en CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère (fertilisation au CO<sub>2</sub>). Cette production accrue de biomasse permet de contrebalancer les impacts additionnels générés par les phases de construction et de fonctionnement du transfert interbassin. Pour ces mêmes catégories d'impact, la comparaison avec le scénario sans irrigation montre un faible écart en termes de performance environnementale au début de la simulation avec pour certaines années, des résultats meilleurs dans le cas du scénario sans irrigation du fait de précipitations abondantes. Cependant, les écarts ont tendance à se creuser au cours du temps au profit du scénario avec irrigation qui permet de limiter les baisses de rendement engendrées par une variabilité plus importante en termes de précipitations dans un contexte de changement climatique.

1. L'expression de nexus désigne un ensemble d'idées, de concepts reliés entre eux et interconnectés.

2. <https://www.fao.org/aquacrop/fr/>

3. Organisation pour l'alimentation et l'agriculture.

**Figure 2** – Évolution des performances environnementales de scénarios d'aménagement agricole avec ou sans projet d'irrigation dans un contexte de changement climatique (performance environnementale calculée sur la base d'un ratio d'éco-efficience entre la quantité totale de biomasse produite sur une année donnée et un impact environnemental calculé à l'aide de la méthode IMPACT World+).



Pour d'autres catégories d'impacts comme la raréfaction des ressources en eau montrée dans la figure 2, l'augmentation des rendements permise par l'irrigation ne peut pas contrebalancer les impacts générés par la consommation d'eau, et le scénario sans irrigation est toujours le plus performant.

Ces premiers résultats permettent de démontrer l'importance d'adopter des démarches d'évaluation dynamiques et prospectives pour quantifier les performances environnementales de scénarios d'aménagement afin d'apporter des éléments objectifs en amont des processus de décisions sur les besoins de mettre en place de grands infrastructures sur les territoires. Le changement climatique est un des enjeux environnementaux majeurs à intégrer, mais d'autres effets seraient également à prendre en compte dans l'évolution des performances environnementales comme la raréfaction des ressources en eau. ■

## EN SAVOIR PLUS

### Vidéos pédagogiques sur l'analyse du cycle de vie :

Qu'est-ce que l'approche cycle de vie ?

→ <https://youtu.be/iHqOLioDFwg>

Qu'est-ce que l'ACV territoriale ?

→ <https://youtu.be/9NzuZGY9XG4>

Comment l'ACV peut être une aide à la décision publique ?

→ <https://youtu.be/XI-HRBpOic0>

Ces travaux sont issus de la thèse de Nicolas Rogy (2020-2023, soutenue le 14/12/2023) à l'Institut Agro de Montpellier :

« Évaluer les performances environnementales de scénarios d'aménagement dans un contexte de changement climatique : application aux périmètres irrigués agricoles »

→ <https://theses.fr/s303904>

## LA GOUVERNANCE TERRITORIALE DE L'EAU ET LA PROSPECTIVE

*Dans cette dernière partie, la gouvernance territoriale de l'eau et la prospective sont abordées, avec notamment l'apport de l'analyse des trajectoires passées, et une restitution de regards croisés sur les méthodes de concertation et de prospective engagées sur des territoires sujets à de fortes tensions sur les ressources en eau.*

- 83 Le diagnostic agraire : comprendre les trajectoires d'évolution de l'agriculture locale pour nourrir les prospectives sur l'eau à l'échelle territoriale**  
*Ariane DEGROOTE, Sophie DEVIENNE, Frank MICHEL*
- 93 Partage de la ressource en eau : quelle méthode prospective pour une gestion concertée de l'eau plus effective et plus efficace ?**  
*Pierre COMPÈRE, Christophe VIVIER, Ludovic LHUISSIER, Nina GRAVELINE*





Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY 4.0). La citation 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.

## Le diagnostic agraire : comprendre les trajectoires d'évolution de l'agriculture locale pour nourrir les prospectives sur l'eau à l'échelle territoriale

Ariane DEGROOTE<sup>1</sup>, Sophie DEVIENNE<sup>2</sup>, Frank MICHEL<sup>3</sup>

<sup>1</sup> UMR LISST – Dynamiques rurales, Chambre régionale d'agriculture d'Occitanie, 31058 Toulouse, France.

<sup>2</sup> UFR Agriculture comparée et développement agricole, AgroParisTech, UMR PRODIG, 91123 Palaiseau, France.

<sup>3</sup> Chambre régionale d'agriculture de Nouvelle-Aquitaine, 33075 Bordeaux, France.

Correspondance : Ariane DEGROOTE, [ariane.degroote@occitanie.chambagri.fr](mailto:ariane.degroote@occitanie.chambagri.fr)

*Mis en œuvre dans une dizaine de sous-bassins d'Adour-Garonne depuis 2019 dans le cadre de projets de territoire pour la gestion de l'eau, des diagnostics agraires ont permis d'analyser les dynamiques agricoles et d'explicitier le rôle central de l'irrigation dans l'évolution des systèmes de production. Cette approche systémique offre une compréhension partagée des enjeux agricoles et constitue une base solide pour envisager des solutions adaptées aux besoins des acteurs locaux.*

### Contexte

Depuis le milieu du vingtième siècle, l'irrigation dans le bassin Adour-Garonne a connu plusieurs phases d'évolution contrastées : après avoir connu une croissance rapide (plus de 5 % par an en moyenne entre 1970 et 1990, puis plus de 2 % jusqu'en 2000) les surfaces irrigables ont légèrement diminué avant de se stabiliser à partir de 2010 (DRAAF Occitanie, 2021)<sup>1</sup>. Aujourd'hui l'irrigation concerne un agriculteur sur cinq et 11 % de la superficie agricole (ibid). L'agriculture est la première activité consommatrice d'eau du bassin Adour-Garonne, avec 43 % des prélèvements annuels, mais 69 % en période d'étiage<sup>2</sup>, et 80 % de la consommation annuelle (Cour des Comptes, 2023). L'expansion de l'irrigation a conduit à un déséquilibre croissant entre usages et ressources dans la plupart des bassins hydrologiques. Malgré l'application de mesures visant à retrouver une gestion équilibrée, certains secteurs connaissent encore des déficits chroniques et le bassin Adour-Garonne doit régulièrement faire face à des étiages sévères. Ces déséquilibres ont toutes les chances de se renforcer dans les prochaines décennies selon les projections du GIEC (IPCC, 2023)<sup>3</sup>, les simulations du climat à l'échelle

régionale (Soubeyroux *et al.*, 2020) et les modélisations hydrologiques (Ayphassoro *et al.*, 2020 ; Agence de l'eau Adour-Garonne, 2022). Le bassin Adour-Garonne est particulièrement affecté par le changement climatique qui se manifeste par la modification des températures et des précipitations et entraîne une diminution de la ressource en eau. L'augmentation des températures et de l'évapotranspiration potentielle affecte la production agricole avec des besoins en eau pour le secteur qui se font plus prégnants. Ces impacts du changement climatique, déjà visibles, vont s'accroître, risquant d'exacerber les tensions autour de la ressource en eau (Cour des Comptes, 2023).

Depuis 2019, des projets de territoire pour la gestion de l'eau (PTGE) se mettent en place en Adour-Garonne dans une trentaine de bassins de gestion. Cette démarche territoriale de concertation sur le partage et les usages de la ressource en eau est encouragée par l'État (Bisch, 2018 ; MTES et MAA, 2019)<sup>4</sup> : elle a pour objectif d'atteindre, dans la durée, l'équilibre entre besoins et ressources disponibles, et d'anticiper les effets du changement climatique et d'y adapter les territoires. Cette approche globale, qui mobilise tous les usagers de l'eau,

1. DRAAF : direction régionale de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt.

2. Site internet de l'Agence de l'eau Adour-Garonne, moyennes 2003-2020.

3. GIEC : groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat ; IPCC (en anglais) : *Intergovernmental Panel on Climate Change*.

4. MTES : ministère de la Transition écologique et solidaire ; MAA : ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation.

s'attache à concilier les bénéfices socio-économiques et les externalités positives environnementales dans une perspective de développement durable du territoire. En 2022, à la suite des travaux du Varenne de l'eau et de l'adaptation au changement climatique qui ont confirmé la pertinence des PTGE pour trouver les réponses adaptées à chacun bassin, notamment en tension, une mission interministérielle a été mise en place afin de favoriser l'aboutissement des PTGE. Elle a recommandé de « dynamiser la gouvernance territoriale pour la gestion de l'eau », en renforçant et outillant les PTGE (Fallon et Gitton, 2022) afin de remédier aux difficultés de mise en œuvre de ces démarches de planification concertée qui visent à assurer une gestion collective et partagée de la ressource en eau entre les acteurs d'un territoire. L'année suivante, l'additif à l'instruction de 2019 insiste sur l'importance d'intégrer l'ensemble des enjeux de la ressource en eau dans sa globalité : reconquête et préservation de la quantité mais aussi de la qualité des eaux (MTECT et MASA, 2023)<sup>5</sup>.

Pour consolider ces démarches territoriales de concertation sur le partage et les usages de l'eau, la mission de 2022 (Fallon et Gitton, 2022) a mis en évidence la nécessité d'une compréhension partagée du territoire dans une première phase d'état des lieux et de diagnostic. Il s'agit de décrire « l'état du territoire et son évolution passée, sous l'angle de la ressource en eau, des milieux aquatiques, des usages et pratiques associées, des politiques mises en œuvre » (ibid). L'analyse critique de cet état des lieux et sa projection dans la durée, sur la base des tendances constatées sur le territoire, permet, sur la base d'un travail d'analyse objectif, d'effectuer un diagnostic qui cherche à expliquer « l'état du territoire en identifiant les causes et les processus physiques, écologiques, techniques et socio-économiques qui sous-tendent son évolution » (ibid). Pour réaliser ce diagnostic, une meilleure connaissance de l'agriculture locale à l'échelle du bassin hydrographique apparaît nécessaire. L'agriculture est en effet le plus souvent de loin la première utilisatrice de la ressource en eau au sein d'un territoire ; dans le contexte du changement climatique, un enjeu majeur pour l'agriculture est de parvenir à une utilisation de l'eau qui permette de sécuriser la production agricole tout en préservant – ou en retrouvant – l'équilibre des écosystèmes et en garantissant la satisfaction des autres usages.

Appréhender la diversité agricole d'un territoire, de manière diachronique, et comprendre la logique de fonctionnement des différents types d'exploitations agricoles afin de poser des hypothèses sur leurs perspectives d'évolution, en questionnant leur capacité d'adaptation face au changement climatique, est essentiel pour réfléchir au développement de ces territoires agricoles et à la place de l'eau dans ce développement. Cette connaissance est indispensable à la bonne compréhension des enjeux agricoles par l'ensemble des acteurs du bassin afin de garantir une assise solide de discussion au sein de ces démarches concertées : elle constitue la base de la mise en place d'une gouvernance partagée. De nombreux bassins font en effet face à des situations de déficit hydrologique important générant des arbitrages complexes et des désaccords politiques, parfois majeurs, menant à des situations de blocage ou de crispation de la part des différentes parties prenantes. L'agriculture est

bien souvent l'une des thématiques clivantes et mérite un plus grand partage de connaissance concernant son évolution, sa situation actuelle et ses perspectives d'évolution. Ces connaissances doivent répondre aux attentes de toutes les parties prenantes sur les enjeux de l'agriculture, aujourd'hui et à venir.

Dans ce contexte, les chambres régionales d'agriculture Occitanie et Nouvelle-Aquitaine accompagnent les porteurs de démarches territoriales concertées autour de l'eau ainsi que les chambres d'agriculture impliquées dans ces démarches pour mieux expliquer les enjeux des usages de l'eau pour l'agriculture. L'appui consiste à réaliser un diagnostic agraire à l'échelle du bassin hydrologique, afin de comprendre les évolutions récentes et la situation présente de l'agriculture, ainsi que les problèmes auxquels elle est confrontée. Ce diagnostic est effectué avec la méthode développée par l'UFR<sup>6</sup> d'agriculture comparée et développement agricole d'AgroParisTech (Mazoyer et Roudart, 1997 ; Dufumier, 1996 ; Cochet et Devienne, 2006). Il vise à expliciter le rôle de l'eau dans la dynamique de l'agriculture du territoire et sa place dans le fonctionnement des exploitations agricoles.

### Les apports du cadre théorique de l'agriculture comparée aux démarches concertées sur l'eau

#### La nécessité d'une approche globale et systémique

L'agriculture d'une petite région agricole est un objet complexe, en constante évolution, qui nécessite pour être finement analysée et pouvoir formuler des pistes de développement adaptées, d'être appréhendée de manière systémique. Ce que font les agriculteurs dépend en effet des conditions écologiques dans lequel ils travaillent, de l'équipement dont ils disposent, mais aussi des conditions économiques, sociales et politiques qui s'exercent à l'échelle locale, régionale, nationale ou internationale et qui évoluent à des échelles de temps distinctes : conditions d'approvisionnement et de débouchés, prix des moyens de production et des produits agricoles, politiques publiques (prix agricoles, modalités d'accès au foncier, à l'eau, au crédit, à la main d'œuvre, politiques environnementales...) (Devienne, 2023). Les processus d'évolution des pratiques agricoles reposent sur les effets des politiques, programmes ou projets menés par les pouvoirs publics ou les collectivités mais également sur les transformations réalisées par les agriculteurs qui, selon les écosystèmes et les conditions socioéconomiques dans lesquels ils opèrent, sont amenés à modifier leurs pratiques. Dans un même territoire, toutes les exploitations ne fonctionnent pas de la même manière. L'approche systémique est nécessaire pour identifier les conditions qui permettraient aux différents types d'agriculteurs du territoire de mettre en œuvre des systèmes de production à la fois plus conformes à l'intérêt général et répondant à leur propre intérêt. Cela implique d'identifier de manière fine les éléments agro-écologiques et socio-économiques qui influencent le choix, le fonctionnement et l'évolution des systèmes de production, et sur lesquels il est possible d'intervenir en priorité pour orienter les pratiques des agriculteurs et le devenir de leurs systèmes de production (Dufumier, 1996).

5. MTECT : ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires ; MASA : ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire.  
6. UFR : unité de formation et de recherche.

Si la nécessité d'une approche pluridisciplinaire à l'échelle d'un territoire a été mise en avant pour analyser les enjeux de l'irrigation et de l'agriculture (Perrier, 2005 ; Devienne *et al.*, 2022), les approches systémiques font encore défaut pour appréhender la réalité agraire dans les territoires où les déficits quantitatifs en eau sont préoccupants.

### **Système agraire et système de production : la nécessaire articulation des échelles d'analyse**

Pour développer une approche globale et pluridisciplinaire, à l'échelle locale, la démarche de l'agriculture comparée s'appuie sur le concept de système agraire (Mazoyer et Roudart, 1997). Ce concept permet de se représenter une réalité agraire comme un système complexe dans lequel les éléments écologiques, techniques, économiques et sociaux ne peuvent évoluer indépendamment les uns des autres. Le recours au concept de système agraire suppose néanmoins de préciser l'échelle pertinente de son application.

En ce qui concerne la gestion quantitative de l'eau, l'échelle de travail imposée par les pouvoirs publics aux porteurs de démarche territoriale est celle de l'unité d'organisation et de gestion de l'eau, qui répond donc à une logique de fonctionnement hydrologique (périmètre élémentaire, sous-bassin, bassin versant...). Le bassin hydrologique s'impose aujourd'hui comme le territoire de la gestion de l'eau et repose sur une reconnaissance institutionnelle et législative à l'échelle nationale depuis la loi sur l'eau de 1964, à l'échelle locale depuis celle de 1992 et à l'échelle européenne avec la directive cadre européenne de 2000 (Ghiotti, 2006).

Le bassin hydrologique ne constitue pas pour autant une échelle toujours pertinente pour analyser le rôle de l'eau dans la dynamique de l'agriculture du territoire et sa place au sein des systèmes de production agricoles. L'étude des transformations et du fonctionnement actuel d'un système agraire vise à comprendre à la fois comment et pourquoi évoluent l'écosystème cultivé et les différents types d'exploitations agricoles, conjointement avec les techniques et les conditions socioéconomiques. L'expression visuelle d'un système agraire est un paysage, qui lui est spécifique et prend place dans un environnement particulier : ce concept s'applique à un espace cohérent, qui comprend l'ensemble des unités paysagères agroécologiques au sein desquelles travaillent les agriculteurs, et homogène, sur le plan du milieu et d'un certain nombre de caractéristiques socioéconomiques. Au sein de cet espace, il est possible d'étudier, toutes choses égales par ailleurs, les processus d'évolution et de différenciation des systèmes de production mis en œuvre par les agriculteurs, en appréhendant les éventuelles différences d'accès à l'eau et leurs conséquences, et d'évaluer et de comparer leurs performances techniques et économiques. La petite région agricole constitue ainsi une échelle privilégiée pour appréhender finement ces processus. Un bassin versant, défini par ses caractéristiques géomorphologiques et délimité par les lignes de partage des eaux, regroupe des espaces qui relèvent de l'amont – la tête de bassin versant – et des espaces de plus basse altitude à l'aval ; il comporte souvent une diversité de reliefs et de paysages, qui peuvent correspondre à différentes petites régions agricoles et donc à un, deux voire plusieurs systèmes agraires, selon

l'organisation et le fonctionnement de l'agriculture qui y est pratiquée à un moment donné.

Au sein d'un même système agraire, les exploitations agricoles diffèrent selon la catégorie sociale à laquelle elles appartiennent et les ressources (gamme de superficie, type de terrains, accès à l'eau ; niveau d'équipement ; main-d'œuvre) dont elles disposent et sont ainsi amenées à fonctionner différemment. Le concept de système de production, défini à l'échelle de l'unité de production agricole, permet de regrouper les exploitations qui, avec des ressources comparables, mettent en œuvre une même combinaison de systèmes de culture (associations, rotations et itinéraires techniques de cultures) et de systèmes d'élevage (type de cheptel et de productions et modes de conduite).

### **Le diagnostic agraire, une méthode pour comprendre les enjeux de la gestion de l'eau à l'échelle territoriale**

L'analyse-diagnostic, méthode développée par l'UFR d'agriculture comparée et de développement d'AgroParisTech (Mazoyer et Roudart, 1997 ; Dufumier, 1996 ; Cochet et Devienne, 2006), vise à replacer la situation actuelle de l'agriculture d'une région donnée dans le temps plus long des dynamiques actuelles et passées dont elle est le fruit.

Appliqué à la gestion de l'eau, le travail de diagnostic agraire s'attache à comprendre le rôle de l'irrigation dans l'évolution de l'agriculture et sa place dans les systèmes de production, en s'intéressant en particulier aux facteurs qui ont conduit aux modalités actuelles de répartition de l'eau entre les agriculteurs, notamment l'accès plus ou moins facile à une ressource inégalement disponible. Cette démarche repose sur un travail de terrain conséquent à l'échelle du sous-bassin étudié (environ 500 km<sup>2</sup>) et comprend de nombreux entretiens semi-directifs auprès des agriculteurs (à la retraite et en activité) et des acteurs du développement.

Le diagnostic agraire se déroule en trois étapes : la caractérisation du milieu dans lequel travaillent les agriculteurs, la compréhension des grandes transformations de l'agriculture et du paysage et enfin la comparaison des logiques de fonctionnement des différents systèmes de production présents aujourd'hui sur le territoire. Ce travail vise à expliquer l'hétérogénéité de conditions dans lesquelles travaillent les agriculteurs, de comprendre que le champ des possibles n'a pas été et n'est pas le même pour tous, afin d'entrevoir leurs perspectives d'évolution et tenter de mieux saisir les marges de manoeuvre des différents systèmes de production dans le cadre d'un partage de l'eau entre les différents acteurs. L'approche systémique est impérative pour comprendre l'équilibre des systèmes de production – que les agriculteurs irriguent ou non – et leurs marges de manoeuvre à court et moyen terme, tant d'un point de vue technique, économique et social.

### **Comprendre l'organisation du paysage et la place de l'eau**

La première étape du diagnostic agraire consiste à « lire » le paysage, le comprendre et le rendre intelligible à tous pour expliquer les conditions dans lesquels travaillent les agriculteurs. Décrypter le paysage consiste, à partir de

son observation détaillée et ordonnée, voire de sa modélisation à l'aide d'un ou plusieurs transects, à en délimiter les différentes parties. Ces grands ensembles sont décrits du point de vue de la géologie du substrat, de la géomorphologie, de la nature pédologique des sols, de la disponibilité de la ressource en eau... De l'observation des usages et des pratiques sont déduites un certain nombre d'hypothèses sur le ou les modes d'exploitation de chacune de ces parties et sur les relations possibles entre ces différents espaces exploités (Cochet *et al.*, 2007).

Dans le cas de l'exemple de la vallée l'Adour en amont d'Aire-sur-Adour (figure 1), la dualité de paysage est forte entre la large vallée alluviale, relativement plane, où la ressource en eau est plutôt abondante entre le cours d'eau et la nappe d'accompagnement, et les coteaux vallonnés du Madiranaise avec des reliefs plus marqués, une hétérogénéité de sols plus forte et une ressource en eau plus limitée.

Cette connaissance fine des ensembles qui composent le paysage permet de mobiliser la statistique agricole pour éclairer au mieux la réalité du terrain. À titre d'illustration, la statistique agricole de la commune de Riscle (63 % d'irrigants, 47 % de la SAU<sup>7</sup> est irriguée) cache la disparité des situations contrastées entre la vallée de l'Adour très largement irriguée (75 % d'irrigants, 82 % de la SAU est irriguée) et les coteaux du Madiranaise où les irrigants sont largement minoritaires (28 % d'irrigants, 13 % de la SAU est irriguée).

**La reconstitution historique de la dynamique agraire pour éclairer la situation contemporaine et identifier les systèmes de production actuels**

Dans un second temps, en s'appuyant sur cette analyse fonctionnelle du paysage, il s'agit de reconstituer les dynamiques agraires de la région en s'intéressant à la fois à l'évolution du mode d'exploitation du milieu, aux trajectoires d'évolution des systèmes de production ainsi qu'aux mécanismes de leur différenciation sociale. Il s'agit notamment de questionner l'évolution des usages de l'eau et l'accès à la ressource ainsi que son partage entre agriculteurs au cours du temps.

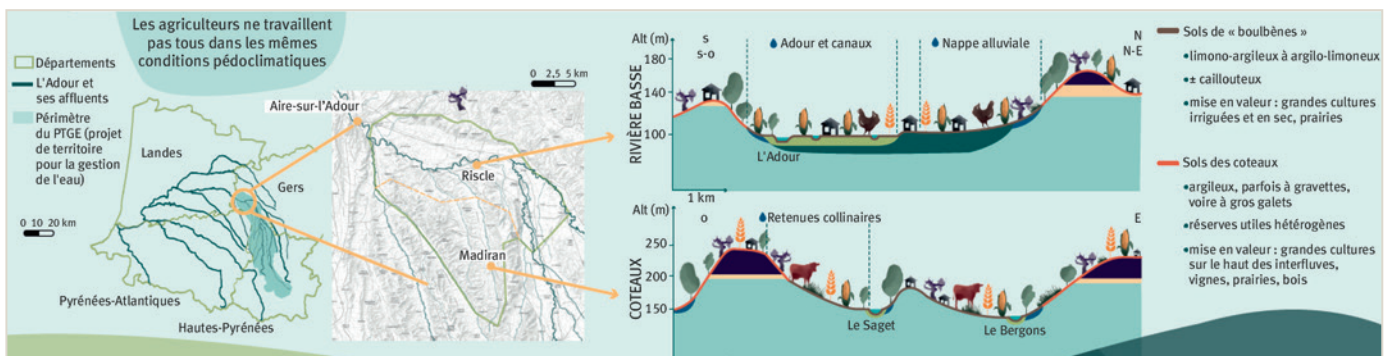
Ce travail s'appuie sur des entretiens approfondis avec les agriculteurs, notamment les plus âgés d'entre eux qui ont été acteurs des transformations de l'agriculture et ceux qui le sont encore aujourd'hui.

Cette phase du travail permet de comprendre les mécanismes à l'œuvre à deux échelles : au niveau de l'évolution de l'agriculture de la région et des paysages, pour donner les grandes tendances des évolutions, et au niveau des exploitations, au sein desquelles ces tendances se déclinent de manières différentes. À l'échelle de la région étudiée, ce travail permet de reconstituer l'évolution du paysage et, à travers lui, celle du mode d'exploitation et de reproduction de la fertilité de chacune des parties de l'écosystème cultivé. Il s'agit d'explicitier les causes et les conséquences de ces changements, et dans un second temps, de comprendre par qui et comment ils ont été mis en œuvre, pourquoi certains agriculteurs n'ont pas réalisé ces transformations, pourquoi d'autres ne l'ont fait que partiellement ou bien différemment. La caractérisation de trajectoires d'évolution communes à plusieurs exploitations disposant d'un accès semblable aux facteurs de production et présentant un fonctionnement technique similaire permet de reconstituer la différenciation des principaux types d'exploitations de la région et d'identifier les mécanismes à l'origine de cette différenciation (figure 2). L'accès à l'eau est un facteur de différenciation sociale qui a profondément marqué l'évolution de certains systèmes de production ; le travail d'analyse comparative conduit dans le Sud-Ouest a notamment montré que, si les exploitations qui ont pu investir dans l'irrigation sont celles qui avaient le plus de moyens au moment de l'investissement à la fin des années 1970 jusqu'au début des années 1990, l'accès à l'irrigation leur a permis de créer plus de richesse par unité de surface et de se maintenir sur une surface moins grande que les exploitations qui n'ont pas eu accès à l'irrigation (Devienne *et al.*, 2022).

L'analyse des mécanismes de différenciation des systèmes de production conduit à l'identification des différents systèmes de production actuels et permet d'en bâtir une typologie. Cette identification porte aussi sur les systèmes de production « en voie de disparition » et ceux déjà disparus, dont les traces dans le paysage sont en train de s'estomper. La compréhension des causes et des mécanismes de leur disparition ainsi que ses conséquences sont souvent utiles pour comprendre comment les autres systèmes ont pu se transformer et être ce qu'ils sont aujourd'hui, et pour poser des hypothèses quant à leurs perspectives d'évolution (Cochet *et al.*, 2007). Il s'agit également d'identifier l'émergence éventuelle de

7. SAU : surface agricole utilisée.

Figure 1 – Modélisation avec des transects des deux ensembles constituant la région d'étude de l'Adour Amont gersois (source : auteurs à partir de Ortega et Siestrunck, 2021).



nouveaux systèmes de production et de comprendre les conditions qui ont permis ces évolutions; une attention particulière est portée aux systèmes engagés dans la voie de l'agroécologie pour expliciter les raisons de leur changement de pratique, leur intérêt à ces évolutions et leur meilleure capacité de résilience au changement climatique. Si les agriculteurs qui mettent en œuvre ces systèmes irriguent, il s'agit de comprendre comment l'eau est mobilisée dans ces nouveaux systèmes et si l'agroécologie permet de réaliser des économies d'eau.

Dans la vallée de l'Adour amont gersois, les aménagements hydrauliques opérés par la Compagnie d'aménagement de coteaux de Gascogne au milieu des années 1970 ont permis à la majorité des agriculteurs d'accéder à l'irrigation sur la plus grande partie de leur superficie et de se lancer dans les cultures rémunératrices comme le maïs semence. Les plus grandes d'entre elles (plus de 100 ha) se spécialisent progressivement dans la culture de maïs, semence et grain, tandis qu'une partie des plus petites exploitations parvient, grâce au revenu permis par le maïs semence, à développer des cultures irriguées à forte valeur ajoutée comme le kiwi ou les asperges ou un élevage avicole hors-sol. La diminution des contrats de maïs semence à partir des années 1990 les conduit à se tourner vers la culture de légumes ou de semences potagères, pour laquelle la coopérative parvient à mettre en place des contrats grâce à la sécurité d'accès à l'eau. À partir de la fin des années 2000, le découplage des aides de la PAC<sup>8</sup> et l'augmentation du prix de l'électricité diminuent l'intérêt de la culture du maïs grain, qui recule dans l'assolement des exploitations au profit des cultures contractuelles.

L'évolution est bien différente dans les coteaux du Madiranais où l'irrigation repose à partir de 1976 sur la construction individuelle de retenues collinaires. Peu d'exploitations y parviennent: en 1988, l'irrigation ne concerne que 10% des exploitations agricoles et 8% de la superficie. L'accès limité à l'eau ne permet pas d'accé-

der aux cultures contractuelles à forte valeur ajoutée: le maïs semence, à partir de la fin des années 1980, les légumes ou les semences potagères sont réservées à la vallée de l'Adour, où la ressource en eau est abondante. Les exploitations n'y irriguent donc que le maïs, destiné à la production de grain ou d'ensilage. La plupart des agriculteurs n'ont pas accès à l'eau: les possibilités d'accroître la valeur ajoutée par hectare sont peu nombreuses et se limitent à l'élevage avicole hors-sol ou à la production de vins d'appellation lorsqu'ils ont accès aux terroirs propices; certains agriculteurs cherchent à s'agrandir dans la vallée de l'Adour voisine. Disparition des exploitations et concentration de la production se poursuivent à un rythme rapide.

La loi sur l'eau de 1992 fige les situations historiquement acquises. Dans la vallée de l'Adour, en 2020 l'irrigation concerne 82% de la superficie et les trois quarts des exploitations, tandis que dans les coteaux du Madiranais elle demeure marginale, avec 13% des exploitations et 8% de la superficie.

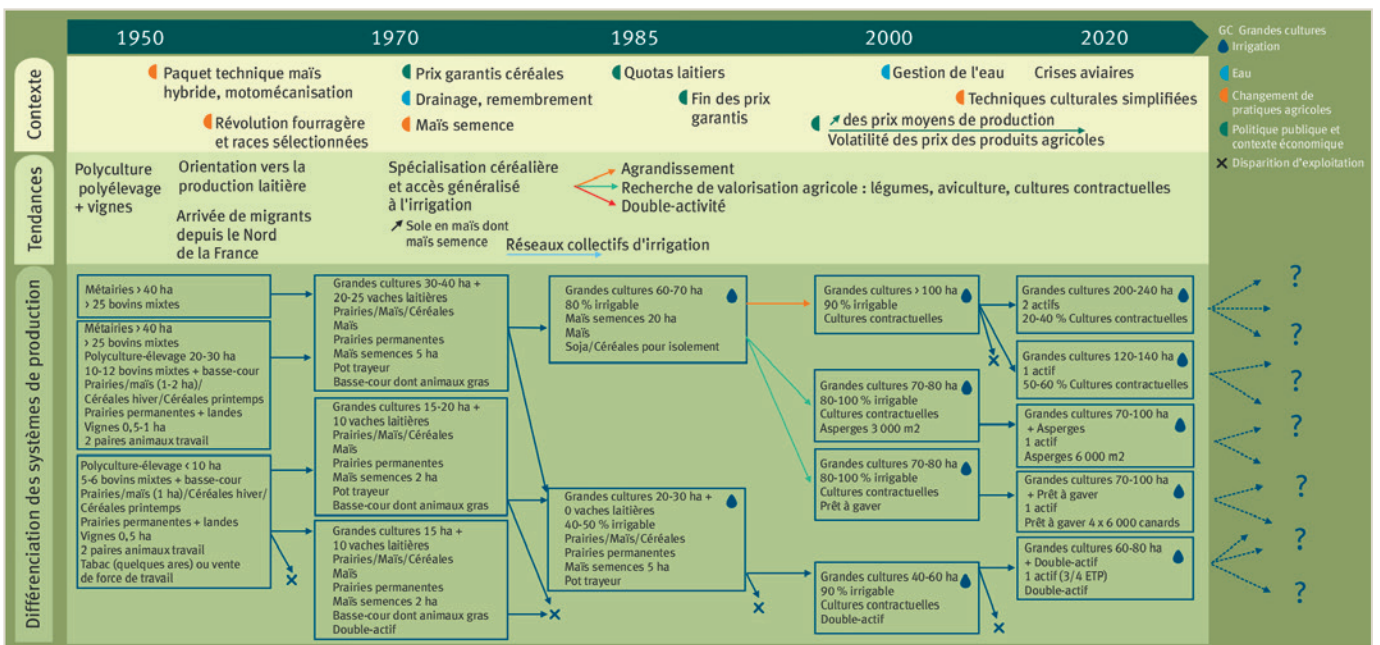
### Lier le fonctionnement technique et les performances économiques de chaque système de production

Basé sur la typologie des systèmes de production préalablement établie, un échantillonnage raisonné des unités de production est effectué pour appréhender la diversité des situations et favoriser la comparaison des logiques de fonctionnement et des résultats technico-économiques de ces différents systèmes. Près d'une cinquantaine d'entretiens semi-directifs permettent de recueillir le matériel nécessaire à la modélisation du fonctionnement technique de chaque système de production pour ensuite en évaluer les performances économiques en lien étroit avec le fonctionnement technique.

Lors des entretiens, il s'agit de comprendre comment les agriculteurs utilisent les ressources dont ils disposent afin de faire émerger la logique globale du fonctionnement

8. Politique agricole commune.

Figure 2 – Modélisation sous forme de frise chronologique (ici, simplifiée et partielle) des transformations agraires depuis le milieu du vingtième siècle et des trajectoires d'évolution des systèmes de production (source : auteurs à partir de Ortega et Siestrunk, 2021).



de leur système de production et d'analyser en quoi elle diffère de celle des autres systèmes de production identifiés dans la région (Cochet et Devienne, 2006). Il s'agit notamment d'expliquer la place et le rôle de l'irrigation au sein des systèmes de production qui irriguent mais aussi d'expliquer comment fonctionnent ceux qui n'ont pas accès à l'eau. Le travail s'attache également à comprendre comment certains agriculteurs parviennent à mettre en œuvre des pratiques plus économes en intrants. Chacun des systèmes de culture et systèmes d'élevage est caractérisé, modélisé et leurs interactions analysées afin de comprendre leurs relations de concurrence et de complémentarité et d'appréhender la logique de leur combinaison. Ce travail ouvre ainsi la voie à la caractérisation et à la modélisation du fonctionnement du système de production dans sa globalité.

La compréhension du fonctionnement technique de chaque système de production agricole, et notamment de ses impératifs, permet d'évaluer ses performances économiques, qui en dépendent. Les calculs économiques en retour éclairent certains aspects de ce fonctionnement pour comprendre pourquoi dans une même région les agriculteurs pratiquent des systèmes de production différents et poser des hypothèses quant aux perspectives d'évolution des exploitations.

Afin de rendre compte du fonctionnement du système de production, d'évaluer l'efficacité du travail des agriculteurs et de comparer les résultats des différents systèmes de production entre eux, l'approche retenue est celle de l'économie de production. Contrairement aux résultats comptables qui témoignent d'une logique fiscale, l'approche économique, basée sur le fonctionnement technique des systèmes de production, est centrée sur deux grandeurs économiques (figure 5) :

- la valeur ajoutée qui exprime la création de richesse résultant du fonctionnement du système ;
- le revenu agricole, résultant du processus de répartition de la valeur ajoutée.

Pour évaluer les performances économiques d'un système de production et les comparer avec ceux d'autres systèmes de production, il est également intéressant de rapporter les grandeurs économiques aux facteurs mobilisés dans le processus de production : à l'unité de surface pour comparer l'intensification du processus productif, à l'actif pour comparer la productivité du travail, au m<sup>3</sup> d'eau utilisée pour comparer la valorisation économique de l'irrigation. Ces résultats économiques sont indispensables pour questionner la viabilité des exploitations mais aussi le maintien de l'emploi et d'un certain tissu rural dans les territoires.

Les résultats économiques montrent l'importance de l'irrigation pour la création de valeur ajoutée dans les systèmes de production. La faible rentabilité du maïs grain irrigué conduit les agriculteurs à rechercher dans la mesure du possible une meilleure valorisation de l'eau. Dans la vallée de l'Adour, les cultures contractuelles permettent de dégager une valeur ajoutée par hectare importante. Il s'agit néanmoins de cultures intensives en travail et leur importance dans l'assolement diminue avec l'augmentation de la surface des exploitations : de 60% pour les plus petites à 10% seulement pour les plus grandes (350-400 ha), les autres cultures irriguées étant essentiellement le maïs grain et dans une moindre mesure le soja. Les systèmes de production mis en œuvre dans les exploitations petites et moyennes valorisent donc mieux l'eau d'irrigation. Les cultures contractuelles combinées à une production à haute valeur ajoutée (élevage avicole hors-sol ou asperges) permet aux exploitations de se maintenir sur une plus petite surface (de 30 à 100 ha/actif) (figure 4). Les exploitations plus grandes sont spécialisées dans les grandes cultures : la valeur ajoutée par actif diminue avec la superficie parallèlement à la diminution de la part des cultures contractuelles dans l'assolement ; les subventions que perçoivent les exploitations les plus grandes dans le cadre de la PAC sont plus importantes et

Figure 5 – Méthodologie des calculs économiques. Contrairement aux amortissements comptables, la dépréciation de l'équipement est évaluée sur la base de sa durée probable d'utilisation, propre à chaque système de production, selon l'intensité d'utilisation de l'équipement et les capacités à le renouveler ou l'accroître (Cochet et Devienne, 2006).

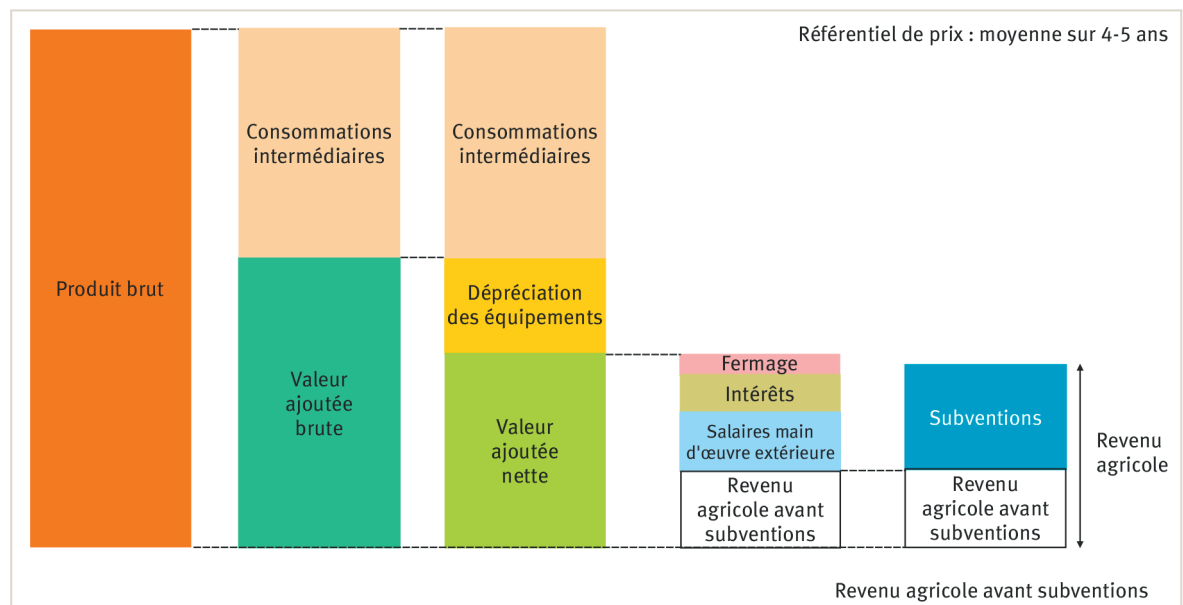
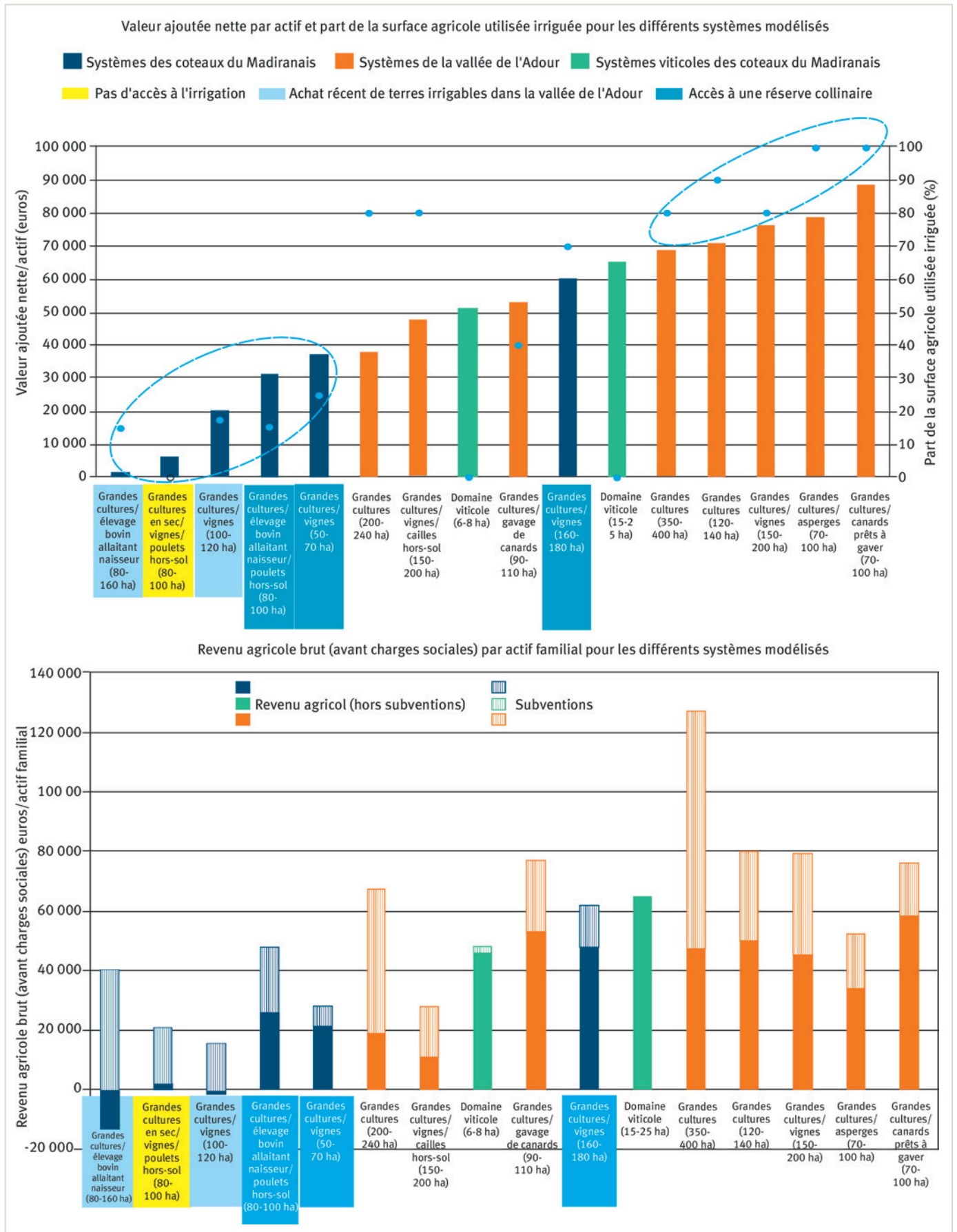


Figure 4 – Modéliser et comparer les systèmes de production actuels : valeur ajoutée nette par actif et revenu agricole par actif familial des systèmes de production des deux petites régions agricoles de l'Adour amont gersois (source : auteurs à partir de Ortega et Siestrunk, 2021).



contribuent à l'obtention d'un revenu par actif familial plus élevé dans ces exploitations qui emploient le plus souvent un salarié.

Dans le Madiranais, où les surfaces irriguées sont peu étendues, la valeur ajoutée dégagée par actif est inférieure à celle des systèmes de production de la vallée de l'Adour. La petite surface irriguée joue néanmoins un rôle important dans la sécurisation de revenu agricole. La diminution de l'intérêt économique du maïs irrigué conduit aujourd'hui les agriculteurs, face au changement climatique, à se tourner de plus en plus vers une irrigation d'appoint sur les céréales à paille ou les oléagineux, voire sur la vigne. La viti-viniculture ou l'élevage hors-sol permettent aux exploitations de se maintenir, ou la reprise de terres dans la vallée de l'Adour qui leur ouvre l'accès aux cultures contractuelles. Les subventions publiques jouent un rôle déterminant pour le revenu des agriculteurs.

### Quels apports de cette approche pour les démarches concertées sur l'eau ?

Mis en œuvre dans près d'une dizaine de sous-bassins d'Adour-Garonne depuis 2019, les diagnostics agraires ont permis d'avoir une meilleure compréhension de l'agriculture de ces territoires afin de discuter la place de l'irrigation et ses implications sur le plan économique, social et environnemental (CRAO *et al.*, 2022)<sup>9</sup>.

Les retours d'expérience montrent que ce travail scientifique et rigoureux permet de mettre en lumière la diversité des conditions dans lesquelles travaillent les agri-

culteurs, l'évolution de l'agriculture locale et donc la diversité agricole actuelle d'un territoire. Retracer l'histoire agricole du territoire, en expliquant les raisons et les conséquences des transformations agraires, est un prérequis pour comprendre et expliquer la situation actuelle mais aussi nécessaire pour construire des scénarios de prospective. Face à la nécessité d'adapter rapidement les systèmes de production agricoles au changement climatique, le travail de comparaison entre les différentes régions étudiées a également permis de mettre en évidence dans quelles conditions l'accès à l'eau peut constituer un atout intéressant pour la transition agroécologique en élargissant le champ des cultures possibles et en sécurisant les productions (Devienne *et al.*, 2022). Les travaux conduits dans le cadre de PTGE ont montré que la meilleure compréhension des enjeux agricoles et du contexte dans lequel travaillent les agriculteurs apaisent la concertation. Pour que ce travail alimente de manière constructive le dialogue territorial, il est important qu'il réponde aux attentes de l'ensemble des acteurs du territoire afin que tous en partagent l'intérêt et s'impliquent dans sa réalisation, en premier lieu les agriculteurs. Lorsque l'ensemble des acteurs partagent les résultats de cette analyse, les fondations sont alors solides pour se projeter dans l'avenir, bâtir des scénarios de prospective et mettre en œuvre des actions concrètes et réalistes. À l'heure où il s'agit de favoriser l'adoption de processus de production adaptés aux écosystèmes, économes en eau et résilients face au changement climatique, la connaissance des réalités agraires apparaît plus que jamais indispensable. ■

8. CRAO : Chambre régionale d'agriculture d'Occitanie.

## RÉFÉRENCES

- Agence de l'eau Adour-Garonne (2022). *Hydrologie et changements climatiques : quelles tendances observées et à venir sur le bassin Adour-Garonne ?* Note, 14 p. <https://eau-grandsudouest.fr/medias/etudes/note-hydrologie-changements-climatiques-quelles-tendances-observees-venir-bassin-adour-garonne>
- Agence de l'eau Adour-Garonne, (2020). *L'état des ressources, gestion quantitative*. <https://eau-grandsudouest.fr/usages-enjeux-eau/eau-grand-sud-ouest/etat-ressources-gestion-quantitative>
- Ayphassorho, H., Bertrand, N., Mitteault, F., Pujos, C., Rollin, D., & Sallenave, M., (2020). *Changement climatique, eau, agriculture. Quelles trajectoires d'ici 2050 ?* Rapport CGEDD n° 012819-01, CGAER n° 19056. <https://agriculture.gouv.fr/rapport-du-cgaer-cgedd-changement-climatique-eau-et-agriculture-dici-2050>
- Bisch, P.-E., (2018). *Cellule d'expertise relative à la gestion quantitative de l'eau pour faire face aux épisodes de sécheresse*. Rapport CGDD n° 011865-01 -CGAER. [https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/2018.09.25\\_rapport\\_mission\\_bisch.pdf](https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/2018.09.25_rapport_mission_bisch.pdf)
- Cochet, H., & Devienne, S. (2006). Fonctionnement et performances économiques des systèmes de production agricole : une démarche à l'échelle régionale. *Cahiers Agricultures*, 15(6), 578-583 (1). <https://doi.org/10.1684/agr.2006.0028>
- Cochet, H., Devienne, S., & Dufumier, M. (2007). L'agriculture comparée, une discipline de synthèse ? *Économie rurale*, 297-298, 99-112. <https://doi.org/10.4000/economierurale.2043>
- Cour des comptes. (2023). *La gestion quantitative de l'eau en période de changement climatique*. Rapport public thématique, 2023. <https://www.ccomptes.fr/fr/publications/la-gestion-quantitative-de-leau-en-periode-de-changement-climatique>
- CRAO, CRANA, & DRAAF Occitanie (2022). *Étude socio-économique sur l'agriculture irriguée du bassin Adour-Garonne*. Chambre régionale d'agriculture d'Occitanie, Chambre régionale d'agriculture de Nouvelle-Aquitaine. <https://occitanie.chambre-agriculture.fr/agroenvironnement/eau/agriculture-irriguee/>
- Devienne, S. (2023). Étudier et comparer les systèmes agraires : quels apports pour le développement de systèmes de production agricole durables ? *Regards croisés sur l'économie* 33, n° 2, p. 86-94. <https://doi.org/10.3917/rce.033.0086>
- Devienne, S., Degroote, A., & Michel, F. (2022). De l'eau pour qui et pour quoi ? Rôle de l'irrigation dans l'évolution de l'agriculture et les systèmes de productions actuels dans différents territoires du bassin Adour-Garonne. *Revue Sud-ouest européen*, 54. <https://doi.org/10.4000/12g5a>
- DRAAF Occitanie (2021). *Bassin Adour-Garonne : Économie de l'agriculture irriguée*. Études n°8, décembre 2021. [https://draaf.occitanie.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/p\\_eco\\_eau\\_adour\\_garonne\\_vd\\_cle4b9ccb.pdf](https://draaf.occitanie.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/p_eco_eau_adour_garonne_vd_cle4b9ccb.pdf)
- DRIAS (s.d.). *Les futurs du climat*. <http://www.drias-climat.fr/>
- Dufumier, M. (1996). *Les projets de développement agricole*. Paris: Karthala-CTA édition. 354 p.
- Dufumier, M. (2002). Économie agricole dans le monde et « agriculture comparée ». In M. Dufumier (Eds.), *Un agronome dans son siècle : actualité de René Dumont* (pp. 61-68). Paris: INA P-G-Karthala.

## RÉFÉRENCES (SUITE)

- Fallon, G., & Gitton, C. (2022). *Appui à l'aboutissement de projets de territoire pour la gestion de l'eau, examen de l'élaboration de quinze PTGE, identification de voies de progrès*. Rapport IGEDD n°013749-01 et CGAAER n°21016, mai, 122 p.
- Ghiotti, S. (2006). Les Territoires de l'eau et la décentralisation. La gouvernance de bassin versant ou les limites d'une évidence. *Développement durable et territoires, Dossier 6*. <https://doi.org/10.4000/developpementdurable.1742>
- IPCC. (2023). Sections. In: *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115. <https://doi.org/10.59327/ipcc/ar6-9789291691647>
- Mazoyer, M., & Roudart, L. (1997). *Histoire des agricultures du monde*. Paris: Éditions du Seuil. 705 p.
- MTECT, & MASA. (2023). Additif à l'instruction du Gouvernement du 7 mai 2019 relative au Projet de Territoire pour la Gestion de l'Eau. Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires, Ministère de l'agriculture et de la souveraineté alimentaire. <https://www.legifrance.gouv.fr/circulaire/id/45398>
- MTEs, & MAA. (2019). Instruction du Gouvernement du 7 mai 2019 relative au Projet de Territoire pour la Gestion de l'Eau. Ministère de la transition écologique et solidaire, Ministère de l'agriculture et de l'alimentation. <https://www.legifrance.gouv.fr/circulaire/id/44640>
- Ortega, C., & Siestrunk, G. (2021). *Diagnostic agricole du nord du bassin Adour amont*. Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme d'Agronomie Approfondie. Paris : AgroParisTech.
- Perrier, A. (2005). *Conclusions, Colloques de l'Académie d'agriculture de France*, n°1, p. 95-96.
- Soubeyrou, J. M., Bernus, S., Corre, L., Drouin, A., Dubuisson, B., Etchevers, P., Gouget, V., Josse, P., Kerdoncuff, M., Samacois, R., & Tocquer, F. (2020). *Les nouvelles projections climatiques de référence DRIAS-2020 pour la Métropole*. Météo-France. <https://www.drias-climat.fr/document/rapport-DRIAS-2020-red3-2.pdf>





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.

## Partage de la ressource en eau : quelle méthode prospective pour une gestion concertée de l'eau plus effective et plus efficace ?

Pierre COMPÈRE<sup>1</sup>, Christophe VIVIER<sup>2</sup>, Ludovic LHUISSIER<sup>3</sup>, Nina GRAVELINE<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Explicite Conseil, 31300 Toulouse, France.

<sup>2</sup> Établissement public territorial de bassin Fleuve Hérault, 34800 Clermont-L'Hérault, France.

<sup>3</sup> Rives & Eaux du Sud-Ouest (ex CACG), 65000 Tarbes, France.

<sup>4</sup> UMR Innovation, INRAE-Cirad-Institut Agro, 34060 Montpellier Cedex 02, France.

Correspondance : Pierre COMPÈRE, pierre@explicite-conseil.fr

*Le colloque « Anticiper pour mieux planifier: Quelle demande en eau pour quelle agriculture demain? », organisé le 28 septembre 2023 à Montpellier a été l'occasion de regrouper des experts de l'eau issus des services de l'État, de collectivités, du monde universitaire et d'entreprises proposant des solutions. Au gré des interventions du colloque, la question du partage équitable des ressources entre les usages et de la mobilisation de diverses parties prenantes dans diverses instances s'est posée. Quelle méthode de concertation employer pour arriver à ce que les parties prenantes se mettent d'accord sur un futur souhaitable et définissent les règles de gestion commune? Les intervenants de cette table ronde ont pu mettre en lumière les éléments d'ordre méthodologique originaux de leurs démarches de concertation.*

### Pourquoi engager de tels travaux de concertation et quels sont les contextes dans lesquels s'inscrivent ces démarches ?

**Christophe VIVIER**

Directeur de l'EPTB Fleuve Hérault

Il s'agissait pour nous, en sus d'obligations réglementaires, de répondre aux attentes des parties prenantes du territoire qui sont particulièrement sensibles à la question de la gestion quantitative de l'eau, après avoir subi deux sécheresses et deux canicules. Nous avons par ailleurs engagé une révision du schéma d'aménagement de gestion de l'eau (SAGE), organisée par la commission locale de l'eau (CLE). Après avoir partagé un premier diagnostic de la situation actuelle, et afin de nourrir ce processus de révision du SAGE, nous avons décidé de lancer, en concertation, une démarche de prospective à l'horizon 2050 sur l'ensemble du bassin de l'Hérault à l'aune du changement climatique. Une prestation confiée à BRL Ingénierie sélectionné sur la base d'un appel d'offres. L'objectif : définir ensemble une trajectoire d'adaptation de la gestion de l'eau sur lequel se basera le SAGE révisé.

### NOTE DE L'AUTEUR

Ces échanges sont issus de la deuxième table ronde du colloque intitulé « Anticiper pour mieux planifier: Quelle demande en eau pour quelle agriculture demain? » organisé le 28 septembre 2023 à l'Institut Agro Montpellier par la chaire Eau « Agriculture et changement climatique » en partenariat avec le Réseau « Systèmes agricoles et eau » (INRAE) et le pôle de compétitivité Aqua-Valley, et animée par l'auteur de l'article. Nous avons repris dans cet article les messages principaux des intervenants et les remercions de s'être prêtés à cet exercice.

**Christophe VIVIER**

Directeur de l'Établissement public territorial de bassin Fleuve Hérault (EPTB Fleuve Hérault) présentant une démarche originale de prospective.

**Ludovic LHUISSIER**

Directeur Sciences, innovation et méthodes à la Compagnie d'aménagement des Coteaux de Gascogne (CACG) revenant sur diverses actions de concertation et de pédagogie.

**Nina GRAVELINE**

Économiste à INRAE, spécialiste de l'adaptation au changement climatique de l'agriculture et gestion de l'eau, présentant quelques principes méthodologiques de l'exercice concerté de prospective TALANO qui se déploie dans l'Aude.

“ Nous menons un exercice de prospective avec un groupe multi-acteurs dans le cadre d'un projet nommé TALANOA<sup>1</sup> financé par le programme européen PRIMA. Les scénarios sont très contrastés et comportent quatre rubriques : le contexte général (Monde, Europe, France), l'économie locale, l'agriculture, la gestion et gouvernance de l'eau. L'exercice a été très bien accueilli et va se poursuivre pour affiner notamment les hypothèses relatives à la gouvernance et la gestion de l'eau pour aller vers de la prospective stratégique (incluant des actions). ”

Nina Graveline

### Ludovic LHUISSIER

Directeur Sciences, innovation et méthodes à la CACG

Ces travaux sont en effet généralement très encadrés et se déploient dans des instances réglementées où l'on parle d'institution à institution, à différentes échelles. De notre côté, nous sommes par exemple mobilisés par le comité de bassin de l'Agence de l'eau, par la CLE Neste et Rivière de Gascogne, ou encore par les comités de gestion mis en place autour des ouvrages au sein des systèmes réalimentés. Ces instances et processus associés sont nécessaires mais insuffisants. J'en veux pour preuve les situations dans lesquelles se trouvent certains projets, bloqués par des contestations, alors même qu'ils ont passé toutes les étapes réglementaires et juridiques en vigueur. D'où l'intérêt d'initiatives volontaires complémentaires, créant les conditions d'un dialogue plus apaisé : nous ne pouvons plus faire l'économie d'une concertation de plus en plus large et anticipée pour tous les nouveaux projets, et ce, avant même leur émergence.

### Nina GRAVELINE

Économiste à INRAE

De notre côté, nous menons un exercice de prospective avec un groupe multi-acteurs dans le cadre d'un projet nommé TALANOA<sup>1</sup> financé par le programme européen PRIMA (fonds dédié à la recherche et innovation sur les sujets croisant agriculture et eau en Méditerranée). Il s'agit donc d'un travail indépendant et parallèle aux démarches institutionnelles telles que les PTGE (projet de territoire pour la gestion de l'eau) et les SAGE. L'objectif du projet est d'explorer des scénarios et stratégies transformatifs de la gestion de l'eau et de l'agriculture.

### Quels sont les acteurs concernés par vos démarches respectives ?

#### Christophe VIVIER

Directeur de l'EPTB Fleuve Hérault

Nous avons dès le début fait le choix de l'élargissement de la concertation au-delà des membres de la CLE en proposant la participation des représentants des structures porteuses des schémas de cohérence territoriale (SCOT). Il s'agit d'associer, au-delà du monde de l'eau, les acteurs du territoire qui ont déjà travaillé à une vision prospective de l'aménagement du territoire. Nous avons décliné notre démarche en trois sous-secteurs contrastés pour s'approcher au plus près des réalités locales et faciliter la mobilisation : Cévenol, Basse-vallée, Moyenne-vallée. Pour chacun, quatre groupes de travail sont successivement organisés pour partager un même langage et co-construire

une vision : (i) prendre conscience (le changement climatique aujourd'hui et en 2050); (ii) se projeter vers l'avenir; (iii) choisir une trajectoire; (iv) synthèse et bilan.

#### Nina GRAVELINE

Économiste à INRAE

Nous retrouvons dans TALANOA les acteurs classiquement impliqués dans les instances de gouvernance locale de l'eau : État ; les collectivités dont l'EPTB (ici le Syndicat mixte des milieux aquatiques et des rivières de l'Aude (SMMAR), cheville ouvrière sur la gestion quantitative de l'eau et rapporteur de la démarche); des usagers de l'eau (agriculteurs, unions d'associations syndicales autorisées, pêcheurs...); des gestionnaires d'infrastructures hydrauliques (comme EDF et BRL); ou encore des associations.

#### Ludovic LHUISSIER

Directeur Sciences, innovation et méthodes à la CACG

N'oublions pas les acteurs rassemblés dans les comités d'usagers locaux d'une ressource en eau (camping, pêche...). L'approche y est moins institutionnelle – ce qui n'empêche pas les postures – et les individus s'y expriment aussi en tant que personnes, en tant qu'habitants, membres d'une même communauté. Ces instances locales peuvent aider à faire vivre les aménagements, au bénéfice d'un grand nombre d'acteurs.

À ce titre, le lac Puydarrieux dans les Hautes-Pyrénées est emblématique du fait de sa multifonctionnalité : tourisme local, pêche, réserve de biodiversité, énergie, agriculture... Un grand nombre de parties prenantes a appris au cours du temps à échanger autour de cet aménagement et de ses développements.

Notons que cet aménagement anthropique a dû nécessairement endommager les habitats et la biodiversité qui préexistaient au moment de sa construction. Pourtant, il est aujourd'hui considéré par tous comme un site vertueux du point de vue de la protection de la nature.

Cela illustre bien l'intérêt de penser aussi très tôt aux impacts positifs qu'on peut attendre d'un projet. On voit bien l'intérêt que nous avons à chercher à les maximiser dès la phase de conception, sans pour autant réduire les efforts d'évitement et de réduction des impacts négatifs. Des démarches de concertation élaborées dans cet objectif doivent pouvoir nous y aider.

### Quel est le rôle de la recherche publique dans ces approches ?

#### Christophe VIVIER

Directeur de l'EPTB Fleuve Hérault

Dans notre approche, je vous ai déjà cité une première particularité : l'élargissement à d'autres parties prenantes et la délocalisation dans des sous-secteurs locaux. Deuxième particularité : nous sommes accompagnés tout au long du processus par des experts des rapports entre eau et changement climatique, tous chercheurs en hydrologie et hydrogéologie dont certains ont participé au dernier rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Ils apportent leur expertise scientifique sur le changement climatique, et doivent nous aider à éclairer les débats sur l'impact des solutions possibles dont certaines sont sujettes à controverses, par exemple les infrastructures du type stockage.

1. <https://talanoa-water-france.hub.inrae.fr/>



Dans notre approche prospective, nous sommes accompagnés tout au long du processus par des experts des rapports entre eau et changement climatique, tous chercheurs en hydrologie et hydrogéologie. Ils apportent leur expertise scientifique sur le changement climatique, et doivent nous aider à éclairer les débats sur l'impact des solutions possibles dont certaines sont sujettes à controverses, par exemple les infrastructures du type stockage.



Christophe Vivier

## Nina GRAVELINE

Économiste à INRAE

De notre côté, nous avons développé un cadre méthodologique original spécifique. Nous avons opté pour un parti pris fort : imaginer des scénarios en 2050 et sur cette base, travailler les conditions qui permettent leur émergence et les trajectoires associées. Ce qui nous permet de faire un pas de côté par rapport aux exercices plus classiquement menés de planification à plus court terme et donc d'explorer des futurs contrastés.

Nous avons utilisé comme point de départ les scénarios socio-économiques SSP<sup>2</sup> utilisés par le GIEC. Ces derniers sont appariés à des scénarios climatiques RCP<sup>3</sup>. Ainsi, à chaque trajectoire d'évolution de développement socio-économique (un scénario SSP) est associée une évolution climatique (un scénario RCP). En s'appuyant sur la littérature grise locale (économie, infrastructure, agriculture...), nous avons décliné localement les hypothèses principales de chaque SSP, initialement pensé à l'échelle globale (libéralisme, décarbonation), pour formuler des premiers scénarios de développement socio-économiques locaux.

Ces premiers textes narratifs ont été présentés et retravaillés lors d'une journée d'atelier avec quarante participants. Cela nous a permis de les amender et de traduire les évolutions de l'agriculture évoquées en termes qualitatifs et quantitatifs. Une deuxième version a pu ainsi être élaborée grâce à toutes les contributions des participants. Ces scénarios sont très contrastés et comportent quatre rubriques : le contexte général (Monde, Europe, France), l'économie locale, l'agriculture, la gestion et gouvernance de l'eau. L'exercice a été très bien accueilli et va se poursuivre pour affiner notamment les hypothèses relatives à la gouvernance et la gestion de l'eau pour aller vers de la prospective stratégique (incluant des actions).

## Ludovic LHUISSIER

Directeur Sciences, innovation et méthodes à la CACG

Le projet TALANOA illustre bien l'apport des sciences humaines et sociales dans la définition des méthodes opérationnelles qui permettent d'établir ensemble des objectifs et de quantifier les enjeux. Nous encadrons ainsi une thèse en cours sur les jeux sérieux et les ate-

liers de dialogue. Nous espérons que ces travaux de recherche nous aideront à trouver de nouvelles voies pour élaborer des projets de territoire plus consensuels. Nous devons en effet arriver à co-construire une combinaison d'initiatives qui « feraient sens ensemble » pour permettre à des projets menés en parallèle d'être « augmentés », d'identifier les synergies possibles, d'initier et conduire le changement, de créer les conditions de la coalition des « pour » (plutôt que de subir le rassemblement des « contre »). Il nous faut arriver à dépasser les postures de négociation selon lesquelles on n'accepte un programme que s'il inclut des projets que nous aurions, les uns ou les autres, préalablement conçus. Nous souffrons trop que chacun défende son projet au détriment des autres, ou cherche à le faire accepter par les autres *a posteriori*.

**Dans les exercices prospectifs que vous conduisez, allez-vous jusqu'à produire des scénarios très en rupture par rapport à l'existant ?**

## Christophe VIVIER

Directeur de l'EPTB Fleuve Hérault

L'exercice démarre, il est encore trop tôt pour répondre. Va-t-on arriver à travailler les scénarios où seront envisagées des évolutions fortes des systèmes de production ? Impliquant des changements de cultures et donc la mutation de filières entières ? Ce qui est sûr, c'est que nous allons devoir nous adapter à des longues périodes de sécheresses et à des températures qui très fréquemment dépasseront les 40 °C. N'oublions pas que les leviers essentiels pour de telles ruptures se situent bien au-delà du cadre local : économie des filières (marché du vin...), réglementation nationale et européenne, politique agricole commune...

## Nina GRAVELINE

Économiste à INRAE

Dans l'Aude, même sans changement climatique, le déficit est déjà très important. Donc de fait, nous sommes amenés à réfléchir à des scénarios transformatifs. Imaginer des scénarios de rupture et contrastés, c'est le principe même de notre démarche. Et par construction, notre prospective permet cela.

Nous avons pu estimer la demande en eau pour chaque scénario. Le dialogue nous a ainsi permis de choisir les cultures possibles et les surfaces correspondantes ; et la modélisation agronomique de traduire cela en volume d'eau. La différence entre scénarios est énorme (de l'ordre de vingt millions de mètres cubes sur les cent millions prélevés aujourd'hui). Notons que nous n'avons pas identifié de cultures miracles qui permettraient de remplacer la vigne irriguée. Autre paramètre impactant fortement les scénarios : la vitesse de l'enrichissement liée à la disparition nette d'exploitations.

2. Les scénarios SSP (*Shared Socio-economic Pathways*) sont des narratifs, traduits en ensembles d'hypothèses socio-économiques (population, éducation, urbanisation, PIB). Ces narratifs décrivent des évolutions alternatives de la société future en fonction de l'ambition donnée aux politiques climatiques nationales et multilatérales.

3. Les scénarios RCP (*Representative Concentration Pathways*) sont des trajectoires de concentration de gaz à effet de serre à l'échelle globale.



*On pourrait ainsi articuler quatre temporalités et quatre modalités de gouvernance associées : l'entretien d'une culture commune (au fil de l'eau) ; l'exercice de planification où la prospective a toute sa place (à renouveler tous les cinq ans, par exemple) ; la concertation autour de projets d'infrastructure particuliers ; et enfin le dialogue autour de leur gestion opérationnelle. Le tout doit nous permettre de mieux gérer les crises que nous aurons à affronter.*



Ludovic Lhuissier

### Quels facteurs clés de succès avez-vous identifiés ?

**Christophe VIVIER**

Directeur de l'EPTB Fleuve Hérault

Le territoire connaît une forte tension sur l'eau, mais les conditions d'un dialogue constructif étaient déjà réunies au sein de la commission locale de l'eau. Cette assemblée est reconnue comme le lieu de débat sur les thématiques de l'eau du bassin versant de l'Hérault, capable de prendre des décisions fortes sur des sujets sensibles (cas du Golf de Lavagnac notamment dans le plan de gestion de la ressource en eau PGRE 2018). L'exercice de prospective à 2050 est très attendu par la CLE, bien consciente que le changement climatique va obliger le territoire à adapter la gestion de l'eau aux nouvelles contraintes : des températures en hausse et des débits estivaux en baisse. La conception de la démarche de prospective a été mûrement réfléchie et le cahier des charges a été réalisé avec l'appui de l'Agence de l'eau qui est d'ailleurs co-financier aux côtés de la Région Occitanie.

**Ludovic LHUISSIER**

Directeur Sciences, innovation et méthodes à la CACG

Dans le prolongement de ce que j'ai évoqué plus haut, je suis convaincu que nous devons arriver à partager une meilleure culture commune sur les enjeux et moyens de gestion de l'eau. C'est pourquoi il me semble important de prendre le temps d'informer et de former les acteurs professionnels ; mais aussi les jeunes, via des interventions autour de jeux dans les écoles primaires, ou au travers de visites d'ouvrages ou de fermes pilotes<sup>4</sup> mobilisant des lycéens et étudiants d'école d'ingénieurs. Il est pertinent selon moi de déployer ces approches dans les territoires en les dissociant des décisions ou des négociations dans les instances réglementaires. En complément, colloques ou conférences comme ceux organisés par la chaire « Eau, agriculture et changement climatique » peuvent nous aider à comprendre les métiers, les exigences et contraintes des autres parties prenantes.

On pourrait ainsi articuler quatre temporalités et quatre modalités de gouvernance associées : l'entretien d'une culture commune (au fil de l'eau) ; l'exercice de planification où la prospective a toute sa place (à renouveler tous les cinq ans, par exemple) ; la concertation autour de projets d'infrastructure particuliers ; et enfin le dialogue autour de leur gestion opérationnelle. Le tout doit nous permettre de mieux gérer les crises que nous aurons à affronter.

Plus largement, la question de l'eau est révélatrice de l'enjeu que nous avons de mieux réfléchir ensemble aux « communs » en repositionnant le progrès technico-économique au service d'un progrès socio-environnemental effectivement partagé.

**Nina GRAVELINE**

Économiste à INRAE

Nous avons été attentifs à ce que les participants reconnaissent comme légitimes le processus et les résultats produits. C'est pourquoi nous avons opté pour cette approche combinant modélisation d'une part et dialogue (participation ouverte) d'autre part. S'appuyer sur un cadre et des travaux qui sont reconnus et mobilisés par le GIEC facilite leur acceptation. Tout le monde s'accorde sur le fait que des forces exogènes s'appliquent au territoire.

Les premiers résultats de quantification des scénarios montrent aussi que le territoire, et donc les acteurs locaux, ont encore des marges de manœuvre pour faire évoluer fortement la demande en eau. Ces marges de manœuvre présentent des ordres de grandeur qui dépassent l'impact du changement climatique sur la ressource. Nous avons ainsi pu illustrer que l'écart entre les scénarios est bien plus grand que le niveau d'incertitude sur le climat. Autrement dit, les évolutions socio-économiques pèsent plus lourd que l'évolution (même incertaine) du climat sur l'équilibre ressource-demande en eau. Nous ne sommes pas qu'en position de subir, nous pouvons agir : ce n'est pas un scoop, mais cela reste un vrai levier de motivation à l'action. Nous avons ainsi pu les motiver à travailler ensemble pour identifier les leviers concrets à actionner.

Il nous faut toutefois arriver à renforcer la mobilisation : si les acteurs de la gestion de l'eau sont bien impliqués, nous regrettons la plus faible participation de représentants d'institutions viticoles (au-delà de la présence de quelques viticulteurs). Nous travaillons en effet dans un cadre parallèle aux cadres institutionnels. La question de préserver des volumes d'irrigation n'est-elle pas encore considérée comme assez stratégique pour profiter de toute occasion d'échanger avec les autres usagers, gestionnaires ou régulateurs, même dans un cadre plus informel comme celui que nous proposons ?

### Prospective ou prédiction ?

**Nina GRAVELINE**

Économiste à INRAE

Nous explorons des futurs possibles par la prospective. La planification qui pourrait en découler doit reconnaître et accepter l'incertitude associée. Cette démarche n'a rien de la prédiction, mais doit pousser à l'action. Il s'agit de penser des modalités de gestion adaptative par construction ; en écartant l'idée de concevoir des scénarios optimisés (ce qui supposerait que tous les paramètres soient connus) pour privilégier la construction de scénarios qui restent robustes alors que les paramètres oscillent dans des fourchettes plus ou moins larges. N'attendons plus des réponses trop tranchées ou des chiffres trop précis de ces exercices. ■

4. La ferme de la Mirandette dans le Gers, par exemple.

## Sciences Eaux & Territoires

est une revue de transfert éditée par INRAE

### Son objectif est de proposer une information claire et lisible de haute qualité scientifique et technique

qui permette de nourrir le processus de l'action et/ou de la décision  
des différents intervenants publics et privés  
dans le domaine du développement rural et de l'environnement.

### La revue développe un lien entre la recherche et l'action.

Elle est envisagée comme un outil d'aide à la décision  
et à l'accompagnement de l'action sur le terrain, en diffusant une information structurée  
sur des méthodologies d'action, des synthèses sur les innovations techniques ou  
technologiques et les dernières avancées de la recherche finalisée dans une optique  
interdisciplinaire, dans les domaines couverts par INRAE et ses partenaires.

### Le lectorat de la revue

Le lectorat visé est un public d'ingénieurs, de gestionnaires et de cadres des services  
techniques des collectivités territoriales, des services déconcentrés de l'État,  
des instituts techniques, des établissements d'enseignement technique et supérieur,  
et des entreprises intervenant à leurs côtés.

De manière plus générale, cette revue s'adresse à tous les acteurs et  
praticiens intervenant sur la gestion des espaces ruraux et périurbains,  
qu'ils soient publics ou privés.

# revue-set.fr

Télécharger librement les articles  
sur le site de la revue Sciences Eaux & Territoires



Numéro 45, année 2024  
N°ISSN : 2109-3016

Directeur de la publication : Philippe Mauguin

Coordination scientifique du numéro : Sami Bouarfa (INRAE), Delphine Leenhardt (INRAE), Pierre Compère (Explicite Conseil),  
Dominique Courault (INRAE), Gilles Belaud (Institut Agro Montpellier), Salomé Schneider (Chaire Partenariale EACC).

Comité éditorial : Jacques Baudry, Nathalie Bertrand, Stéphanie Gaucherand,  
Véronique Gouy, Alain Hénaut, Ghislain Huyghe, Emmanuelle Jannès-Ober,  
Delphine Mézière, Sébastien Michel, Thierry Mougey, Gaëlle Tallec et Caty Werey.

Coordination éditoriale : Sabine Arbeille

Secrétariat de rédaction, mise en page et suivi d'édition : Valérie Pagneux

Infographie : Françoise Peyriguer

Contact édition et administration :

INRAE-DipSO – 1 rue Pierre-Gilles de Gennes – CS 10030 – 92761 Antony Cedex

Tél. : 01 40 96 61 21 – E-mail : set-revue@inrae.fr

Numéro paritaire : 0511 B 07860 – Dépôt légal : à parution

Impression : Dupli-Print Mayenne

Illustration de couverture : Jixster (Adobe Stock)

Illustrations du sommaire : Christophe Maitre (INRAE), Nicolas Bertrand (INRAE) ; Alberto Masnovo (Adobe Stock), kamonrat (Adobe Stock).

Tous les articles édités par la revue Sciences Eaux & Territoires sont publiés sous l'entière responsabilité de leurs auteurs.

Sciences Eaux & Territoires  
revue-set.fr

Numéro 45, année 2024  
N°ISSN : 2109-3016

