



TÉMOIGNAGE

CLIMASSOL : l'assolement comme levier d'adaptation des exploitations agricoles face au changement climatique

CLIMASSOL: crop rotation as a lever for adapting farms to climate change

Alice VALLES*, Aude CARRERA**, Sylvain MARSAC*, Sophie GENDRE*, Romain TSCHEILLER*, Jean-Louis MOYNIER***, Aristide OLOU****, Olivier DEUDON****, Valérie LEVEAU****

* ARVALIS – 6 chemin de la Côte Vieille 31450 Baziège - Correspondance : Alice Valles, ingénieur d'étude, Email : a.valles@arvalis.fr Tel : +33 (0)7 62 53 29 89

** ARVALIS – Cité Mondiale - 6 Parvis des Chartrons 33075 Bordeaux

*** ARVALIS – Le Magneraud 17700 St Pierre d'Amilly

**** ARVALIS – Station expérimentale - 91720 Boigneville

Résumé

Le projet CLIMASSOL a pour objectif de proposer et d'évaluer des scénarios d'assolement vis-à-vis de leur résilience face au changement climatique, de l'efficacité de l'eau d'irrigation et de leur rentabilité économique. Sur sept secteurs de Nouvelle-Aquitaine, des scénarios d'assolement d'adaptation ont été co-construits lors d'ateliers participatifs. Sur la base de projections climatiques passées et futures, ces scénarios ont été évalués avec l'outil de comparaison d'assolements ASALEE. Sous l'effet du changement climatique, les assolements proposés ainsi que les assolements actuellement pratiqués subissent tous des baisses de rentabilité à moyen terme. L'irrigation permet de les limiter en compensant une partie des pertes de rendement dues au stress hydrique. Les résultats obtenus permettent d'apporter aux agriculteurs de premiers éléments de réponse quant à la résilience de scénarios d'assolement qu'ils imaginent face au changement climatique.

Mots clés : Assolement, Changement climatique, Gestion des risques, Efficacité de l'eau d'irrigation, Nouvelle-Aquitaine

Abstract

The CLIMASSOL project aims to design and to assess crop rotation scenarios regarding their resilience to climate change, irrigation water efficiency and economic profitability. In different areas of Nouvelle-Aquitaine (France), adaptation crop rotation scenarios were created through collaborative workshops, in cooperation with agricultural stakeholders. These scenarios considered IPCC different climatic scenarios (RCP 4.5 and RCP 8.5 climate projections have been used over 20 years periods: 2020-2060). Scenarios have been assessed using a crop rotation comparison tool, ASALEE. ASALEE relies on water balance model Irré-LIS® and crop production functions. It integrates climate variability, as well as production price scenarios to simulate market fluctuations. Profitability decreases on all simulations in medium-term future. Irrigation could limit this decline by compensating yield losses due to water stress. Crops grown under contracts display a real potential, but their production depends on markets and water access. The results obtained may provide farmers with first insights on the resilience of their crop rotation scenarios to climate change.

Keywords: Crop rotation, Climate change, Risk management, Efficiency of irrigation water

Introduction

Pour s'adapter au changement climatique, les choix cultureux liés à l'apport en eau d'irrigation et aux pratiques d'irrigation doivent permettre une meilleure efficacité de l'eau tout en assurant une durabilité économique de l'exploitation agricole. La demande évapotranspiratoire des cultures va de ce fait augmenter en été alors qu'une réduction de la pluviosité est attendue sur la période estivale (Brisson et Levrault, 2010). Les besoins en eau d'irrigation des cultures seront plus élevés et les cultures pluviales verront leur confort hydrique se dégrader (Soubeyroux et al., 2013).

Une des pistes d'adaptation possible pour les agriculteurs est la modification de leurs assolements et l'optimisation de l'utilisation de leur ressource en eau (Leveau et al., 2012). L'objectif du projet CLIMASSOL (Climassol, 2021), financé par le Conseil Régional de la Nouvelle-Aquitaine, est de proposer et d'analyser des scénarios d'assolement vis-à-vis de leur résilience au changement climatique, de l'efficacité de l'eau d'irrigation et de leur rentabilité économique. Le projet est porté par ARVALIS et mobilise quatre partenaires : Alcor - groupe Terres du Sud, la Chambre d'agriculture de la Vienne, Terre Atlantique et Océalia. Des acteurs des filières agricoles, notamment des agriculteurs, ont été conviés à construire des scénarios d'assolement dans le cadre d'ateliers. Des fermes types ont été modélisées, puis des scénarios d'assolement ont été simulés et évalués selon plusieurs indicateurs de performance.

Matériel et méthodes

Ateliers de conception

Le projet CLIMASSOL porte sur sept secteurs géographiques de Nouvelle-Aquitaine. Pour chaque secteur, un groupe de travail a été formé et co-animé par ARVALIS et un des quatre partenaires du projet. Chaque groupe a organisé des ateliers participatifs impliquant une gamme d'acteurs complémentaires sur le plan des métiers : une majorité d'agriculteurs, des conseillers techniques, des organismes économiques et des experts d'ARVALIS. De 3 à 10 agriculteurs représentant différents systèmes de production présents sur les secteurs étudiés ont été mobilisés pour chacun de ces ateliers, en petits groupes, accompagnés par les animateurs et les conseillers.

Les objectifs des ateliers étaient les suivants :

- Partager et identifier les problématiques rencontrées par les agriculteurs dans leur secteur ;
- Définir une exploitation type par atelier, qui sera ensuite modélisée et permettra de réaliser les simulations ;
- Co-construire des scénarios d'assolement et d'adaptation des stratégies d'irrigation (volumes d'eau d'irrigation, éventuelles restrictions d'irrigation) dans des contextes climatiques passés et futurs ;
- S'assurer que les scénarios choisis sont bien en cohérence avec les objectifs d'économie d'eau d'irrigation, les problématiques rencontrées par les agriculteurs et les contraintes des filières.

Une restitution a ensuite été présentée aux groupes de conception.

Modélisation d'exploitations types

Pour chacune des zones étudiées, une exploitation type, fictive, représentant les systèmes de production de la zone d'étude concernée, a été construite : Surface Agricole Utile (SAU) de l'exploitation, types de sols dont le Réservoir Utile (RU) et le Réservoir Facilement Utilisable (RFU), charges d'irrigation, matériels d'irrigation, volumes d'eau d'irrigation, charges complètes par culture, dates de semis, précocités/varieties, précédents, temps de traction, rendements potentiels hors contrainte hydrique par culture, conduites d'irrigation par culture et assolement initial.

Une ferme modèle déjà préexistante pour chaque secteur issue des références internes d'ARVALIS (disponible à partir de l'outil d'évaluation multicritère Systerre®) a été présentée aux agriculteurs lors des ateliers de conception, constituant une base de travail. Les échanges ont ensuite permis de valider ou compléter les références technico-économiques nécessaires et d'aboutir à une exploitation type par secteur. Certains paramètres ont été définis à partir de recherches

bibliographiques et auprès d'experts. L'outil Systemre® a permis d'extraire des paramètres nécessaires tels que des charges fixes (rémunération des salariés, charges de mécanisation en cours d'amortissement, etc.) et des charges opérationnelles (intrants, séchage, etc.) par culture, pour chacune des fermes. Les types de sols ont été choisis à partir de la base de données sols d'ARVALIS.

Pour chaque exploitation type, le prix de l'eau a été calculé à partir de la redevance de bassin (qui varie en fonction de l'Agence de l'Eau à laquelle l'exploitation est rattachée et de l'origine du prélèvement) et du coût de l'énergie de pompage. La quantité d'énergie consommée a été calculée en fonction de la puissance des pompes, leur système d'alimentation, leurs débits ainsi que du volume d'eau apporté sur les cultures. Le matériel d'irrigation a été défini pour calculer le volume d'eau d'irrigation disponible par jour. Ont été également définis un volume maximum d'eau d'irrigation disponible et, si nécessaire, une période de restriction d'irrigation.

Un assolement initial a été constitué pour les sept exploitations types par un choix de cultures, de surfaces, de volumes d'irrigation par culture et de types de sols. Les cultures choisies représentaient les principales espèces cultivées dans le secteur, avec des assolements parfois plus diversifiés que pour une exploitation réelle. Des rendements potentiels hors contrainte hydrique ont été définis pour chaque culture lors des ateliers. L'assolement ainsi défini a constitué la situation initiale. Cet assolement initial a été comparé aux scénarios d'assolement proposés lors des ateliers et retravaillés en aval (doses d'irrigation, choix des cultures, répartition entre cultures d'hiver et de printemps, etc.).

Evaluation du levier « assolement »

L'outil d'évaluation ASALEE

L'outil ASALEE, créé en 2019 par ARVALIS et ses partenaires Terres Inovia, INRAE et les Chambres d'Agriculture de Charente-Maritime et des Deux Sèvres (Marsac, 2020), simule à partir de données décrivant l'exploitation agricole et son mode de conduite d'irrigation, les performances technico-économiques d'assolements choisis (marges nettes, consommation en eau d'irrigation, temps de travail) (Figure 1). ASALEE a été conçu à l'issue de l'analyse des utilisations et limites des outils existants tels que le modèle LORA, Logiciel Optimisant la Recherche d'Assolement (Leveau et al., 2012)

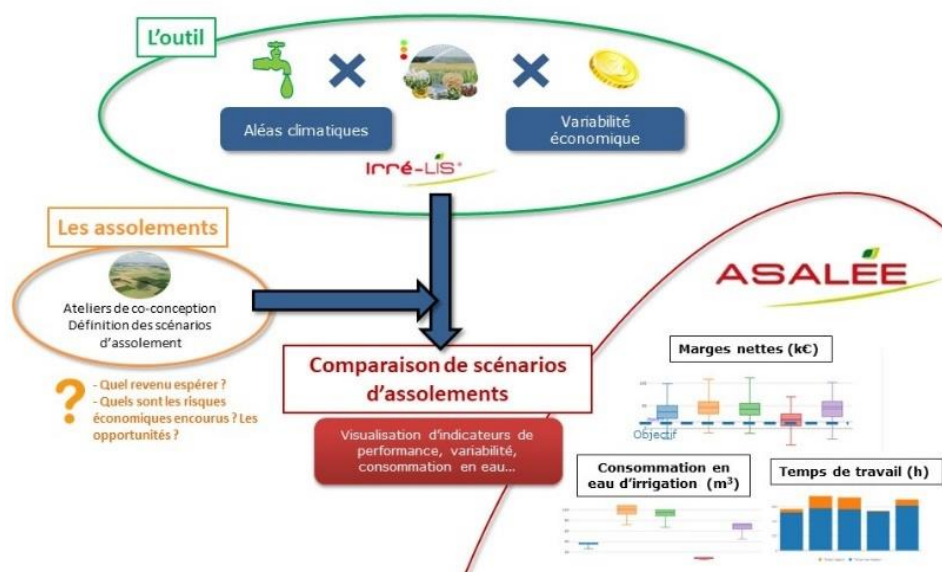


Figure 1 – Asalée : Simulations d'assolements et diagnostics d'exploitation

L'outil intègre le modèle de bilan hydrique Irré-LIS® qui prend en compte l'effet des températures sur le cycle de chaque culture et calcule un déficit en eau du sol journalier. Irré-LIS est un modèle simple de bilan hydrique, dont l'objectif est de déterminer à un instant donné l'état du réservoir en eau du sol (RU et RFU) et de calculer l'évolution de son déficit (Gendre, 2020). Le modèle permet de considérer la croissance des racines au fur et à mesure du déroulement du cycle cultural, tout en tenant compte des conditions météorologiques et des données parcellaires renseignées. Le calcul du bilan hydrique consiste à estimer le déficit en eau en ajoutant les pluies et les irrigations au déficit en eau de la veille et en soustrayant la consommation (évapo-transpiration réelle) et le drainage. Un modèle décisionnel associé au bilan hydrique permet de déclencher l'irrigation automatiquement selon des règles de décisions (stade de début, stade de fin, dose unitaire, temps de retour, seuil de déclenchement), dès que le déficit en eau du sol atteint la limite inférieure du RFU.

Des fonctions de production (ou fonctions de réponse à l'eau) associées au modèle permettent d'estimer le rendement annuel de chaque culture composant l'assolement selon son niveau de stress hydrique à partir de rendements hors contraintes hydriques fixés lors des ateliers de conception. Une fonction de production est la relation qui relie le rendement relatif d'une culture à sa consommation relative en eau :

$$\frac{r}{R} = f\left(\frac{ETR}{ETM}\right)$$

Avec : ETR = évapotranspiration réelle ; ETM = évapotranspiration maximale ; r = rendement à l'ETR ; R = rendement à l'ETM.

Ces fonctions de production peuvent être linéaires ou linéaires-plateau, par phase de cycle de la culture ou sur un cycle entier.

Ces fonctions ont été établies à partir de recherches bibliographiques et d'essais testant la réponse à l'eau d'une culture : un rapport ETR/ETM est calculé pour tous les stades des cultures, pour définir un indice de stress hydrique unique par culture et estimer une perte de rendement en fonction du niveau de stress hydrique. Les rendements potentiels par culture fixés lors des ateliers ont été validés en comparant les rendements moyens issus des simulations ASALEE avec les rendements moyens des productions du secteur estimés par les agriculteurs et les conseillers techniques locaux.

Variabilités climatiques et économiques

L'outil ASALEE intègre une variabilité climatique à travers le calcul de rendements sur 20 années climatiques. Dans le projet CLIMASSOL, les données climatiques sont simulées pour des contextes climatiques passés et futurs dans des zones localisées en Nouvelle-Aquitaine et sont issues des travaux des experts du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Le GIEC a défini quatre trajectoires d'émission et de concentration de gaz à effet de serre, d'ozone, d'aérosols et d'occupation des sols (IPCC, 2013). Ces trajectoires sont nommées RCP (Profils représentatifs d'évolution de concentration) et représentent une évolution du bilan radiatif à l'horizon 2300 exprimée en W/m² (Moss et al., 2010) (

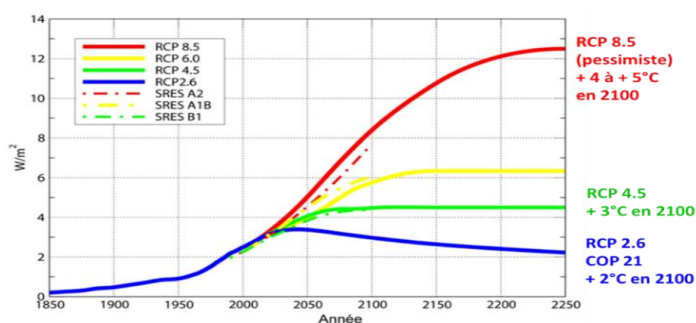


Figure 2).

Figure 2 – Quatre projections RCP (Representative Concentration Pathway) du GIEC (Source Drias)

Les deux profils climatiques choisis dans l'étude sont le profil RCP 4.5 qui projette une stabilisation des émissions de gaz à effet de serre qui conduirait à une augmentation de la température moyenne de +1,1 à +2,6 °C à l'horizon 2100 et le RCP 8.5, contexte climatique pessimiste qui implique qu'aucune mesure ne soit prise pour limiter le réchauffement climatique et qui se traduirait par une augmentation de la température de +2,6 à +4,6 °C d'ici 2100. Les résultats simulés comparent les périodes 1980-2000 et 2040-2060. L'étude des contextes climatiques a été réalisée toutes données d'entrée égales par ailleurs.

De manière à apprécier l'impact de la variabilité économique sur la rentabilité des différents assolements étudiés, 500 scénarios de prix de vente par culture ont été générés et intégrés dans ASALEE. Pour une majorité de cultures, une valeur de prix a d'abord été renseignée par année afin de créer un historique de prix en euros constants sur 10 ans (2009-2019) : les scénarios de prix ont ensuite été générés à partir d'une loi normale. Pour les cultures sans référence historique de prix disponible, les scénarios ont été générés selon une loi uniforme. Un tirage aléatoire permet ensuite de définir un prix pour chaque culture. Pour les cultures peu fréquentes dans les assolements en grandes cultures comme les cultures spéciales et les cultures à haute valeur ajoutée (Felix, 2020), un prix fixe a été déterminé à partir de références locales. Dans ce cas, la variabilité de prix n'est pas prise en compte.

Scénarios d'assolement

Des scénarios d'assolement ont été créés en cohérence avec les attentes et les problématiques relevées par les agriculteurs sur leurs secteurs et dans une perspective d'adaptation de leurs exploitations dans un contexte de changement climatique. Ces scénarios ont été proposés lors des ateliers de conception par les agriculteurs réunis en petits groupes puis retravaillés après les ateliers. Ces derniers ont été présentés et synthétisés en 27 scénarios d'assolement simulés dans l'outil ASALEE pour les sept groupes. Les scénarios ne sont pas tous présentés dans cet article. Les performances de chaque scénario d'assolement ont été comparées aux performances obtenues avec les assolements initiaux de chaque exploitation type, dans des contextes climatiques différents.

Mesure de performance des assolements

La marge nette et son coefficient de variation sont les indicateurs économiques retenus pour l'étude. La marge nette correspond au revenu dégagé par l'exploitant agricole après le retrait de l'ensemble des charges de l'exploitation (hors rémunération familiale). Elle peut être calculée sur l'ensemble de l'exploitation ou à l'hectare, avec la possibilité d'inclure ou d'exclure les aides telles que les Droits de Paiement de Base (DPB). Dans cet article, les marges nettes sont présentées à l'hectare (€/ha) et comprennent les DPB et les aides couplées. La marge nette est calculée à partir de la formule ci-dessous dans ASALEE :

$$\text{Marge nette} = \text{Prix de vente} \times \text{Rendement (+ Aides)} - \text{Charges intrants} - \text{Charges de mécanisation} - \text{Charges de main d'œuvre salariale} - \text{Cotisation sociales} - \text{Charges liées au foncier}$$

Le volume d'eau d'irrigation consommé est également suivi.

Pour chacune des exploitations types du projet, l'analyse des assolements est triple (Figure 3) :

- (i) Etude de l'impact du changement climatique sur la marge nette de l'assolement initial. La marge nette moyenne de l'assolement initial en période 1980-2000 est comparée au contexte climatique 2040-2060 RCP 4.5 et au contexte climatique 2040-2060 RCP 8.5.
- (ii) Etude de l'impact du changement climatique sur la marge nette des scénarios d'assolement par rapport à l'assolement initial en période 1980-2000. Quelque que soit la période d'étude (1980-2000, 2040-2060 RCP 4.5 et 2040-2060 RCP 8.5), les marges nettes moyennes des

scénarios d'assolement d'une exploitation type sont comparés à la marge nette moyenne de l'assolement initial de cette exploitation en période 1980-2000.

- (iii) Etude de la capacité d'adaptation des nouveaux assolements en contexte de changement climatique. La marge nette moyenne de chaque scénario d'assolement est comparée à l'assolement initial dans chaque contexte climatique.

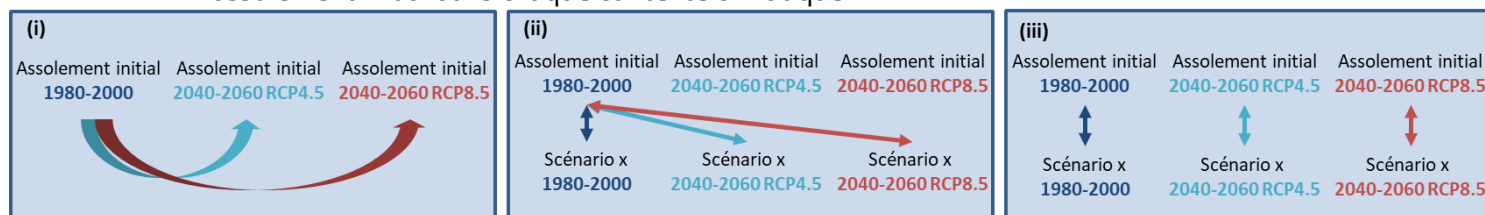


Figure 3 – Méthodes d'analyse des comparaisons de marges nettes pour un exemple sur une exploitation type

Résultats

Situation initiale des exploitations types

Tableau 1 – Situation initiale pour les sept exploitations

	1. Lot-et-Garonne - Vallée du Lot	2. Lot-et-Garonne Coteaux de Seyches	3. Landes - Vallée de l'Adour	4. Landes - Vallée de la Midouze	5. Charente-Maritime Groies	6. Charente - Terres de Champagne	7. Vienne - Groies
SAU (ha)	140 ha	100 ha	150 ha	80 ha	230 ha	175 ha	200 ha
Dont sole irriguée	16% de la SAU	22% de la SAU	100% de la SAU	100% de la SAU	NA	30% de la SAU	35% de la SAU
% cultures de printemps	36%	52%	100%	95%	22%	62%	35%
Types de sol 1	Terreforts moyens et superficiels (70% de la SAU)	Terreforts moyens (50% de la SAU)	Alluvions sablo limoneuses profondes (100% de la SAU)	Alluvions argileuses hydromorphes (100% de la SAU)	Groies superficielles et moyennes (95% de la SAU)	Terres de champagne profondes (86% de la SAU)	Groies superficielles (90% de la SAU)
	RU = 68 à 120mm / RFU = 49 à 77mm	RU = 120mm / RFU = 77mm	RU = 166mm / RFU = 101mm	RU = 104mm - RFU = 68mm	RU = 95 à 200mm / RFU = 60 à 130mm	RU = 145mm / RFU = 90mm	RU = 65mm / RFU = 43mm
Types de sol 2	Boulbènes colorées et Argilo limoneux calcaire profonds (30% de la SAU)	Terreforts profonds (50% de la SAU)	NA	NA	Marais Argilo-calcaire profond (5% de la SAU)	Argilo-calcaires superficiels (14% de la SAU)	Groies moyennes (10% de la SAU)
	RU = 161 à 172mm / RFU = 99 à 104mm	RU = 120mm / RFU = 77mm	NA	NA	RU = 56mm / RFU = 43mm	RU = 82 mm / RFU = 57 mm	RU = 105mm / RFU = 69mm
Volume disponible (m³)	38 800 m³	26 500 m³	240 000 m³	100 000 m³	0 m³	60 000 m³	55 000 m³
Prix de l'eau (€/m³)	0.08 €/m³	0.08 €/m³	0.05 €/m³	0.06 €/m³	NA	0.15 €/m³	0.15 €/m³
Périodes de restriction d'irrigation	A partir du 15 août	NA	NA	NA	NA	À partir du 1 ^{er} août	À partir du 1 ^{er} août

NA : sans objet pour la situation considérée

Les références des exploitations types sont indiquées dans le Tableau 1. L'exploitation n°1 « Vallée du Lot » est constituée d'une partie en coteaux et en vallée dans un territoire maïsicole, avec des restrictions d'irrigation à partir du 15 août. Pour l'exploitation n°2 « Coteaux de Seyches », le secteur présente des rotations céréalières avec des capacités d'irrigation limitées (lacs collinaires). L'exploitation n°3 « Vallée de l'Adour » est de taille moyenne (150 ha), à dominante maïs, en irrigation par pivot avec des sols d'alluvions. L'exploitation n°4 « Vallée de la Midouze » est constituée également de sols d'alluvions des Landes, de plus petite taille par rapport aux autres exploitations de l'étude (80 ha). L'exploitation n°5 située en Charente-Maritime est conduite en pluvial et présente des groies et des marais présents en Poitou-Charentes. L'exploitation n°6 en Charente dans le secteur de Cognac est en grandes cultures, l'accès à l'irrigation dans le secteur facilite la diversification et l'accès aux cultures d'été. Enfin pour le groupe n°7 le plus au nord situé dans la Vienne, les types de sols sont des groies superficielles. Dans les secteurs de Poitou-

Charentes n°5, 6 et 7, les exploitations de l'étude sont plus grandes que les secteurs plus au sud de la région (175 à 200 ha contre 80 à 150 ha). On note un prix de l'eau nettement plus élevé que pour les secteurs du sud (0.15 €/m³ contre 0.05 à 0.08 €/m³), ainsi que la présence d'une restriction d'irrigation débutant le 1^{er} août. C'est pourquoi le groupe n°5 a proposé des assolements uniquement en pluvial. Dans les groupes n°3 et 4 des Landes on remarque des volumes d'irrigation plus importants, sans date de restriction et où le prix de l'eau est le moins cher. Les charges complètes par culture sont en revanche plus élevées que les autres secteurs.

Description des assolements initiaux

Exploitation n°1 : Dans l'assolement initial, les cultures d'hiver (blé tendre en majorité) sont fortement représentées et constituent plus de la moitié de l'assolement global (Figure 4). Les cultures de printemps sont cultivées sur 52 ha dont 22 ha irrigués (maïs et soja) avec des volumes d'irrigation peu élevés : 120 mm (soit 4 tours d'eau de 30 mm).

Exploitation n°2 : La sole est répartie pour moitié entre cultures d'hiver, blé tendre majoritairement, et cultures de printemps avec maïs, soja et tournesol. Seuls le maïs et le soja sont irrigués avec 120 mm.

Exploitation n°3 : Le contexte pédoclimatique est peu favorable aux cultures hivernales (excès d'eau, pression maladies). 80% de la sole est à base de différents types de maïs : maïs grain et waxy, maïs doux et maïs semences, irrigués à hauteur de 200 mm. Les 20 % restants se répartissent entre soja irrigué (160 mm) et tournesol en pluvial.

Exploitation n°4 : 5% de la sole est constituée de blé tendre et 95% de cultures de printemps : 40 ha de maïs grain, 30 ha de maïs waxy – irrigués avec 140 mm – 2 ha de soja irrigué (100 mm), 4 ha de tournesol. Le sol de type hydromorphe et les pluviométries importantes se prêtent mal aux cultures d'hiver dans ce secteur.

Exploitation n°5 : L'assolement, sans irrigation, est diversifié et reflète davantage les cultures représentatives de la zone que d'une exploitation réelle, parfois plus simplifiée. Il comprend 190 ha de cultures d'hiver (blé tendre, colza, blé dur, orge) et 40 ha de cultures de printemps (tournesol, féverole, pois, orge, maïs).

Exploitation n°6 : L'assolement est diversifié, représentatif des principales espèces cultivées dans le secteur : blé tendre, blé dur, colza, orge de printemps, pois de printemps, tournesol, et trois cultures de printemps irriguées : maïs (120 mm), maïs pop-corn (160 mm), tournesol irrigué (30 mm).

Exploitation n°7 : La sole est répartie en 130 ha de cultures d'automne (blé tendre, colza, orge d'hiver, pois) et 50 ha de cultures de printemps irriguées : maïs grain (100 mm), tournesol (30 mm) et 20 ha de maïs semences (130 mm). Le maïs semences irrigué est un exemple de culture à forte valeur produite dans le secteur.

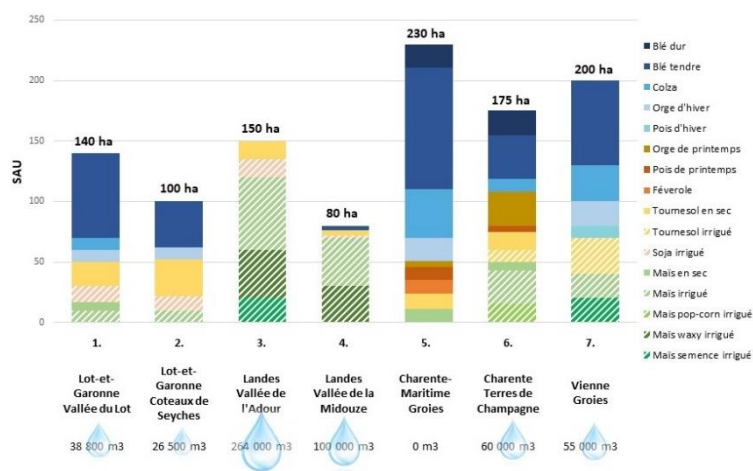


Figure 4 – Assolements initiaux : SAU (ha), cultures par exploitation type, volumes d'irrigation totaux (m³)

Assolements initiaux et impact du changement climatique

On constate une réduction des marges nettes moyennes en période 2040-2060 pour les assolements initiaux de toutes les exploitations types avec une augmentation des coefficients de variation (Figure 5). Les pertes de marge nette s'élèvent en contexte climatique RCP 8.5 entre 28 €/ha et 54 €/ha pour les exploitations de Lot-et-Garonne et de Poitou-Charentes (n°1, n°2 et n°5, n°6, n°7) (Méthode (i) de la Figure 3). L'impact du changement climatique est plus important sur le résultat des deux exploitations landaises n°3 et n°4 dont la sole est constituée entre 95% et 100% de cultures de printemps, avec une perte de marge nette moyenne de 116 €/ha et 194 €/ha en contexte climatique pessimiste.

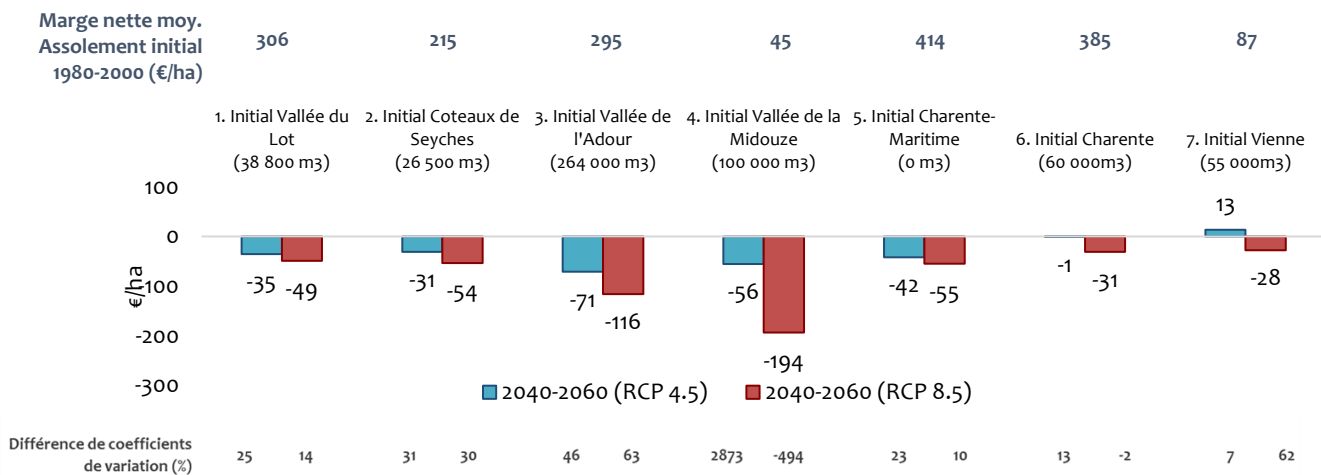


Figure 5 – Assolements initiaux : marge nette moyenne de l'assolement initial d'exploitation type 1980-2000 (€/ha), volumes totaux d'irrigation (m3), variation de la marge nette moyenne d'exploitation (€/ha) et du coefficient de variation (%) par rapport au contexte climatique 1980-2000 (Méthode (i) de la Figure 3)

Impact du changement climatique sur les scénarios d'assolement prospectifs – Focus territoire Coteaux de Seyches

Les résultats obtenus sur l'exploitation n°2 sont présentés Figure 6. Cinq Scénarios ont été proposés et testés.

Dans un 1^{er} assolement simplifié, le blé tendre meunier est converti en blé améliorant (BAF), les cultures d'orge et de soja sont arrêtées, le tournesol choisi est oléique et non plus linoléique. L'irrigation du maïs est réduite (50 mm au lieu de 120 mm) soit un volume total d'irrigation de 12 500 m3. La marge nette moyenne est supérieure de 41 et 37 €/ha en contextes 2040-2060 RCP 4.5 et RCP 8.5 respectivement par rapport à l'assolement initial à ces mêmes périodes (méthode (iii) de la Figure 3) et le coefficient de variation est similaire.

Dans le 2^e scénario, l'introduction de cultures à haute valeur est testée. 5 ha d'orge semences et 5 ha de colza semences sont introduits, ainsi que 5ha de betterave porte-graines, seule culture irriguée avec 210 mm soit un volume d'irrigation total de 10 500 m3. Le maïs grain est conservé en pluvial en modifiant la précocité (précoce au lieu de demi-tardive). Ce scénario montre un gain de marge nette moyenne par rapport à l'assolement initial en période passée de 207 et 184 €/ha (méthode (ii) de la Figure 3) avec une réduction des coefficients de variation.

Le 3^e scénario propose une simplification de l'assolement avec arrêt du soja et du colza, maintien du blé tendre (50% de l'assolement), du tournesol (25%) et du maïs (25%), et passage en pluvial. On constate des baisses de marges nettes moyennes et une plus forte variabilité (+47% et +76% des coefficients de variation en contextes climatiques futurs).

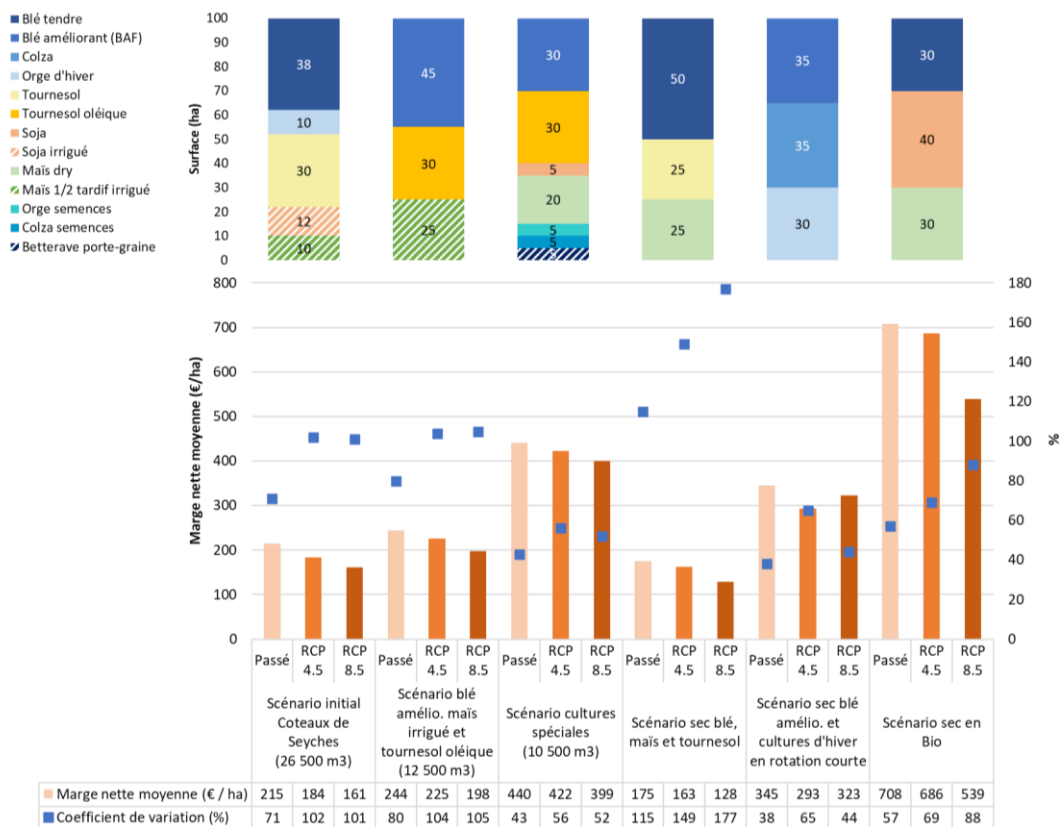


Figure 6 – Résultats pour l'exploitation « Coteaux de Seyches » : assolements (ha), marge nette moyenne (€/ha), coefficient de variation (%)

Le 4^e scénario simplifie aussi l'assolement avec 100% de cultures d'hiver dans une rotation colza/blé/orge en pluvial. Ce scénario montre de meilleurs résultats économiques mais la rotation courte, peu pertinente agronomiquement, va créer des problèmes agronomiques et notamment de désherbage.

Un dernier scénario pour le groupe Coteaux de Seyches a testé une valorisation en agriculture biologique avec une rotation blé/maïs/soja. Un point d'attention méthodologique est à relever pour ce scénario qui conserve les mêmes fonctions de production que les cultures conduites en conventionnel, avec un rendement potentiel réduit et des scénarios de prix adaptés. Les résultats obtenus avec des scénarios de prix en agriculture biologique sont élevés (+493 €/ha par rapport au scénario initial 1980-2000), ce gain est moins élevé en contexte RCP 8.5 mais reste important (+324 €/ha).

Impact du changement climatique sur les scénarios d'assolement pluri-secteurs

Lors de la construction des scénarios d'assolement, des thématiques communes ont été identifiées entre les différents secteurs. Des scénarios avec une réduction du volume d'eau d'irrigation jusqu'au passage total en pluvial avec une adaptation de l'assolement ont été discutés et proposés. Ils ont été comparés aux assolements initiaux de leurs secteurs d'étude.

Un premier scénario (a.) concerne l'exploitation n°3, il simule une baisse de 88 000 m³ de volume et les surfaces de maïs sont réduites de moitié pour ne constituer plus que 40% de la sole totale. Du colza en pluvial est introduit pour 20 ha (dans l'hypothèse d'une implantation réussie malgré les conditions sèches de fin d'été). La différence de marge nette moyenne par rapport à l'assolement initial en période climatique future est de +97 €/ha et +124 €/ha respectivement pour le contexte RCP 4.5 et RCP 8.5. L'assolement proposé semble meilleur en contexte de changement climatique.

Un scénario (b.) propose une réduction du volume d'irrigation en Vallée de la Midouze (exploitation n°4), les surfaces sont identiques avec un volume d'irrigation divisé par deux pour toutes les cultures irriguées (maïs avec 70 mm, soja avec 50 mm). La précocité du maïs est adaptée passant de tardif à demi-tardif. Ce scénario subit de très fortes pertes de marges nettes quel que soit le contexte climatique. Les coefficients de variation sont plus bas mais toujours à des niveaux élevés. Un scénario (c.) proposé pour l'exploitation n°6 en Charente teste l'augmentation de surfaces à intérêt économique avec 25 000 m³ d'eau d'irrigation réduite par rapport à l'assolement initial dédiée au maïs pop-corn et au tournesol. Avec une sécurisation de rendement sur le pop-corn et l'intérêt économique du blé dur et de l'orge de printemps, le scénario montre un gain de marge nette moyenne par rapport à l'assolement initial en contextes climatiques RCP 4.5 et RCP 8.5, de 107 €/ha et 121 €/ha et une légère baisse de la variabilité.

Le scénario (d.) simplifié de l'exploitation n°7 en Vienne dédie un plus faible volume d'eau d'irrigation disponible (20 000 m³) à 80 ha de blé tendre irrigué à 25 mm. La surface en colza passe en pois d'hiver et les 20 ha de maïs irrigué sont remplacés par du tournesol en sec. La part non négligeable de cultures de printemps en sec dans ce type de sol entraîne une perte de marge nette et le scénario est sensible face au changement climatique, avec une perte de marge nette moyenne de l'ordre de 225 €/ha par rapport à l'assolement initial simulé en contextes climatiques futurs. La variabilité baisse pour ce scénario.

Le scénario (e.) en pluvial de l'exploitation n°7, est bâti pour être plus adapté à l'agriculture pluviale tout en conservant des cultures de printemps dans la rotation : augmentation du blé tendre et du pois d'hiver, réduction du tournesol, suppression du maïs semences pour être remplacé par du sorgho (20 ha). Ce scénario permet d'évaluer la perte de valeur permise par l'irrigation et par le maïs semences, culture plus rémunératrice. Les pertes de marge nette moyenne s'élèvent à 38 à 45 €/ha en comparaison avec l'assolement initial en contextes climatiques RCP 4.5 et RCP 8.5. Le coefficient de variation augmente fortement en contextes climatiques futurs.

Dans le dernier scénario (f.) de l'exploitation n°1 en Lot-et-Garonne (passage en pluvial), la part de blé tendre est réduite, celle du colza est augmentée et le soja initialement irrigué est remplacé par du tournesol. Le maïs produit en pluvial en variété précoce remplace la variété initiale demi-tardive. La marge nette moyenne baisse légèrement par rapport à l'assolement initial en contextes climatiques futurs, de 28 à 26 €/ha, et le coefficient de variation augmente très légèrement.

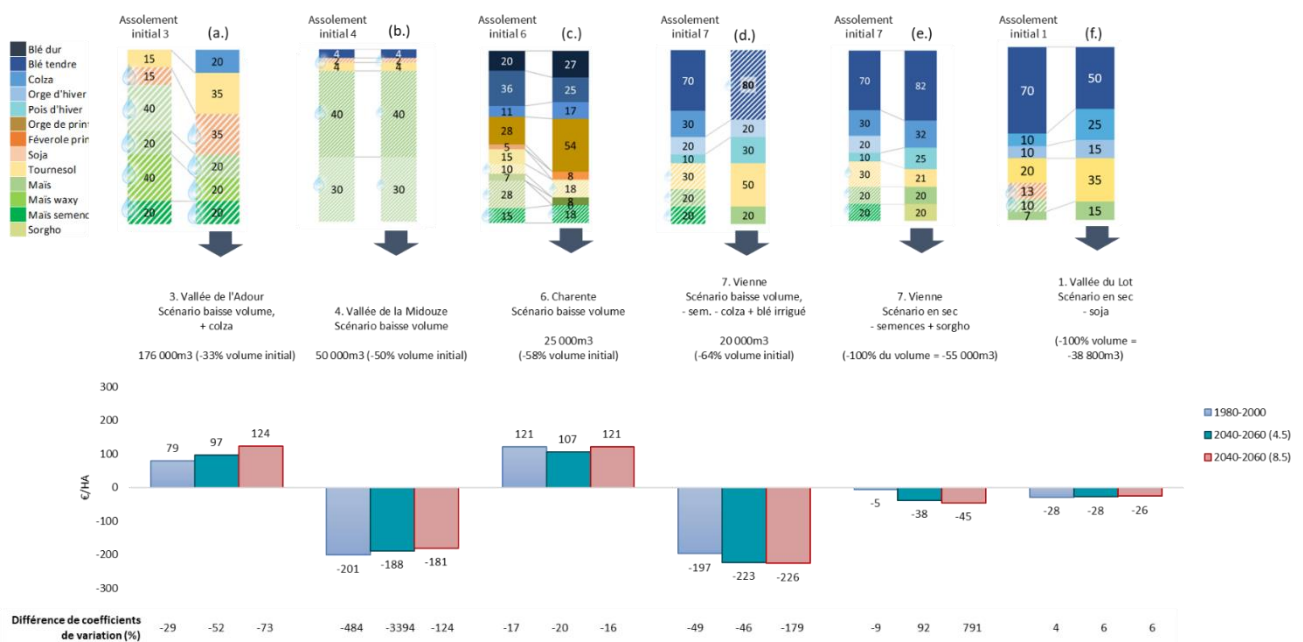


Figure 7 – Assolements (ha), volumes d'irrigation totaux (m³), variation de la marge nette moyenne d'exploitation (€/ha) et du coefficient de variation (%) par rapport au scénario initial par période climatique (Méthode (iii) de la Figure 3)

Discussion

Enseignements principaux de l'étude

Les scénarios d'assolement proposés subissent tous des baisses de rendement à moyen terme du fait de la hausse des besoins en eau. L'irrigation peut permettre de maintenir un niveau de marge nette en compensant une partie de ces pertes de rendement. Les pratiques d'irrigation actuelles constatées dans les secteurs étudiés sont déjà généralement limitantes. La perte de marge nette due à la réduction de volumes d'eau d'irrigation sur l'exploitation ainsi que la variabilité des résultats peuvent être limitées avec une adaptation de l'assolement en conséquence. On note l'importance de maintenir un bon niveau d'irrigation sur des cultures ciblées pour minimiser les pertes de rendement par stress hydrique en volume réduit. Les scénarios d'assolements simplifiés sont peu pertinents avec des baisses de performances économiques et/ou agronomiques. La stratégie d'irrigation où de plus grandes surfaces sont irriguées avec des doses plus faibles sont ici impactées par le changement climatique. Les cultures pluviales subissent des pertes de marge nette avec une plus forte variabilité des résultats qui peuvent être limitées lorsque le passage en sec s'associe notamment à une sole plus importante en cultures à forte valeur économique comme le blé dur ou l'orge de printemps, dans des sols favorables avec de bons niveaux de RU. On note un fort intérêt des cultures contractualisées mais qui dépend des débouchés et de l'accès à l'eau pour maintenir le niveau d'irrigation qui est nécessaire à leur conduite. Ces cultures entraînent également une augmentation du temps de travail des producteurs et une adaptation conséquente de leurs matériels et des conduites des cultures. Le niveau de compensation de la marge nette dépend de nombreux facteurs propres à chaque secteur: charges complètes, prix de l'eau, SAU, type de sol, etc.

Limites méthodologiques et perspectives

Cette étude s'appuie sur un moteur de calcul et des données d'entrée dont l'estimation peut être discutée. Contrairement aux charges opérationnelles issues de données d'expertises auprès des agriculteurs et des conseillers techniques, les charges fixes comme la mécanisation ou la main d'œuvre, moins connues des agriculteurs, sont issues de références internes à ARVALIS. Ces valeurs proviennent de secteurs similaires mais où certaines caractéristiques techniques peuvent différer, et sont identiques à celles des fermes types initiales même dans des cas de baisse de volume, constituant une limite à prendre en compte dans l'analyse des résultats. Les charges complètes de chaque culture, les charges d'irrigation comme le prix de l'eau, les scénarios de prix, ne varient pas selon les contextes climatiques simulés. Dans le cas du maïs, les frais de séchage sont calculés en fonction du rendement et pour une teneur en eau fixe à la récolte dépendante du type de précocité. Or, l'humidité à la récolte varie selon les conditions de récolte, ce qui peut impacter la marge nette de cette culture.

Le modèle ne prend pas en compte les contraintes de type excès d'eau, hydromorphie ou phénomènes d'échaudage (Brisson et Levrault, 2010). De ce fait, les cultures d'hiver sont peu pénalisées par le changement climatique dans l'étude. De plus, l'outil ne considère pas les impacts dus aux ravageurs et aux maladies (Launay et al., 2014), ni l'impact de plus forts taux de CO₂ sur la croissance des plantes (Brisson et Levrault, 2010). Les fonctions de production ont été élaborées à partir de données d'expérimentation parfois localisées ou incomplètes selon les cultures, qui peuvent impacter les données de sorties du modèle. La betterave porte-graines n'ayant pas de fonction de production, on émet alors l'hypothèse qu'elle est irriguée en confort hydrique même en contexte climatique futur.

ASALEE est un outil construit et adapté aux systèmes de grandes cultures. Il est ainsi limité en nombre et en type de cultures, ce qui contraint le choix des secteurs géographiques. L'outil se prête encore mal aux systèmes de polyculture-élevage, nombreux dans les secteurs étudiés, notamment vis-à-vis de ses indicateurs de performance et de l'absence du paramétrage des cultures fourragères. Ces limites réduisent les possibilités de diversification d'assolement et de proposition

de scénarios en « rupture » (systèmes mixtes, intégration de cultures fourragères et prairiales, maraichères, intermédiaires exportées, ligneuses, en mélange, création de nouvelles filières locales, réflexion à l'échelle d'un territoire, etc.) qu'il serait intéressant de traiter afin d'élargir le panel de solutions d'adaptation au-delà des scénarios d'assolement proposés par les agriculteurs. Pour aller plus loin que la méthodologie proposée dans cette étude et dépasser ses limites intrinsèques, il serait également intéressant d'étudier les autres contraintes qui s'imposeront de plus en plus à l'agriculture de demain : émissions/stockage des gaz à effet de serre, dépendance aux engrais, réduction des produits phytosanitaires, biodiversité, temps de travail, etc. Ces autres contraintes interagissent avec la contrainte hydrique et doivent être prises en compte dans les critères de décisions des agriculteurs et participer à leurs choix d'adaptation. De nouvelles études mobilisant l'outil ASALEE sont actuellement en cours dans d'autres régions en France, dont certaines réaliseront une évaluation multicritère des systèmes de culture plus étoffée à l'aide notamment de l'outil Systemre®.

Conclusion

La tendance générale mise en évidence dans cette étude est la réduction des marges nettes et une plus forte variabilité au cours des prochaines années quel que soit le contexte pédoclimatique et technico-économique de l'exploitation. Le niveau de marge nette dépend de plusieurs facteurs : contexte climatique considéré, solidité économique de l'exploitation et niveau initial de marge, prix de vente des cultures, contexte pédoclimatique et accès à des leviers d'adaptation (irrigation, allongement de la rotation, introduction de cultures sous contrat à forte valeur, etc.). En compensant une partie des pertes de rendement dues aux stress hydriques qui vont en s'accroissant dans un contexte de changement climatique, l'irrigation a un impact positif sur la marge nette. Toutefois, le niveau de compensation dépend de facteurs économiques comme le prix de l'eau. L'étude a montré l'intérêt d'introduire des cultures contractuelles ou à forte valeur sur l'exploitation (pour rentabiliser le coût de l'irrigation) et met en avant l'intérêt de maintenir la diversification, stratégie payante sur le plan économique et technique. Ces possibilités dépendent des débouchés disponibles pour chaque culture et de leur niveau de rémunération, et de l'accès à l'irrigation peu contrainte indispensable pour introduire des cultures à forte valeur. Les systèmes pluviaux montrent un intérêt pour le maintien de rotations diversifiées et les possibilités de diversification sont inhérentes au contexte pédoclimatique. On note que les situations initiales montrent globalement des résultats économiques intéressants. Les agriculteurs des différents secteurs présents aux ateliers de conception ont déjà commencé à modifier leurs assolements en augmentant la sole de blé tendre aux dépens des cultures estivales et en adaptant les stratégies d'irrigation à l'évolution du climat et à la disponibilité des ressources en eau. Cette étude permet d'apporter aux agriculteurs des premiers éléments de réflexion quant à la résilience de leur assolement face au changement climatique. Cela permet d'orienter de futurs travaux de recherche-développement afin d'améliorer l'outil, rendre la méthode plus robuste et aller plus loin dans l'étude de l'adaptation des systèmes agricoles face aux aléas et aux contraintes qui les impactent.

Bibliographie

Brisson N., Levrault F., 2010. Livre vert du projet CLIMATOR 2007-2010 Changement climatique, agriculture et forêt en France: simulations d'impacts sur les principales espèces. ADEME Editions, 334p.

CLIMASSOL, 2021. CLIMASSOL : Construction de scénarios d'assolements en réponse aux aléas climatiques dans sept territoires de la Nouvelle-Aquitaine. Compte-rendu de projet, Agence de l'Eau Adour-Garonne, 155p.

Drias les futurs du climat <http://www.drias-climat.fr/accompagnement/sections/175> (consulté le 10/05/20)

Felix I., 2020. Diversification et reconcentration. Perspectives Agricoles, N° 479, Juillet/Août 2020, 8-14.

Gendre S., 2020. Focus - Irré-LIS®, exemple d'outil d'aide à la décision en irrigation, Revue Science Eaux & Territoires, Économies d'eau en irrigation, N°34, 28/11/2020, 72-75.

IPCC, 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535p.

Launay M., Caubel, J., Bourgeois G., Huard F., García De Cortázar-Atauri I., Bancal M.-O., Brisson N., 2014. Climatic indicators for crop infection risk: Application to climate change impacts on five major foliar fungal diseases in Northern France. Agriculture, Ecosystems & Environment, 197, pp147-158.

Leveau, V., Marsac, S., Leroy, P., 2012. Choix d'assolement : exemples de mise en œuvre d'outils d'aide à la décision. Agronomie, Environnement & Sociétés, vol. 2 N°2., Décembre 2021, 63-74.

Marsac S., 2020. ASALEE, un outil en ligne comparant les stratégies d'assolement. Perspectives agricoles n°475, Mars 2020, 59.

Moss R.H., Edmonds J., Hibbard K.A., Manning M.R., Rose S.K., Van Vuuren D.P., Carter T.R., Emori S., Kainuma M., Kram T., Meehl G., Mitchell, J., Nakicenovic N., Riahi K., Smith SJ., Stouffer R., Thomson AM., Weyant J., Wilbanks T., 2010. The next generation of scenarios for climate change research and assessment, Nature, 463, 747-756.

Soubeyroux J.-M., Vidal J-P., Najac J., Kitova N., Blanchard M., Dandin P., Martin E., Page C., Habets F., 2013. Projet ClimSec Impact du changement climatique en France sur la sécheresse et l'eau du sol, Rapport final du projet. Actes des Journées AFPP, 1-72.



Les articles sont publiés sous la licence Creative Commons 2.0. La citation ou la reproduction de tout article doit mentionner son titre, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue AE&S et de son URL, ainsi que la date de publication.