



AGRO-ÉCOLOGIE ET BESOINS EN EAU

Rapport d'étude
Charlotte Salmon - Décembre 2020

Sommaire

1.	Introduction : contexte de la mission et questions posées.....	5
2.	Cadre et méthode.....	7
3.	Performances économiques de l'irrigation	9
3.1.	Contexte : quelques chiffres sur l'irrigation en France	9
3.2.	Différentes stratégies d'irrigation	10
3.3.	Gains de rendement et de marge brute permis par l'irrigation.....	11
3.4.	Coûts liés à l'irrigation	16
3.4.1.	16
3.4.2.	16
4.	Performances environnementales de l'irrigation	18
4.1.	Sur le paramètre Azote.....	18
4.1.1.	18
4.2.	Sur le paramètre Produits Phytosanitaires	19
4.3.	Sur les risques de verse	19
4.4.	Economies d'eau potentielles en irrigation.....	20
4.4.1.	Sur le matériel d'irrigation	20
4.4.2.	Sur les outils d'aide à la décision.....	22
5.	Des leviers agro-écologiques, à différentes échelles	24
5.1.	Echelle du végétal ou du troupeau.....	25
5.1.1.	Le choix des variétés, des cépages et des races.....	25
5.1.2.	Les mélanges variétaux	26
5.1.3.	L'avancement des dates de semis.....	27
5.1.4.	L'entretien des vignes.....	27
5.1.5.	Adapter le troupeau aux ressources locales	28
5.1.6.	Maximiser le pâturage.....	28
5.2.	Echelle de la parcelle	29
5.2.1.	La réduction du travail du sol	29
5.2.2.	La couverture des sols	30
5.2.3.	Les apports de matières organiques	33
5.3.	Echelle du système de culture.....	34

5.3.1.	Modification de l'assolement	34
5.3.2.	S'orienter vers des cultures économes en eau.....	35
5.3.3.	... Ou vers des associations de cultures et d'espèces.....	38
5.4.	Echelle du paysage	40
5.4.1.	Haies et bocages.....	40
5.4.2.	Agroforesterie	41
5.5.	Echelle du bassin versant et du territoire	44
5.5.1.	Témoignage sur le bassin versant Aume-Couture.....	44
5.5.2.	Témoignage sur les bassins versants du Cher	48
5.5.3.	Témoignage sur le bassin versant du Marais Poitevin	50
6.	Focus sur des questions spécifiques.....	51
6.1.	Focus sur le lien matière organique et réserve utile.....	51
6.2.	Focus sur l'Agriculture Biologique et les besoins en eau	53
6.2.1.	Performances de l'Agriculture Biologique sur d'autres enjeux environnementaux.....	54
6.3.	Focus sur l'Agriculture de Conservation et les besoins en eau	55
	57
6.3.1.	Performance de l'ACS sur d'autres enjeux environnementaux	58
6.4.	L'Agriculture Biologique de Conservation est-elle possible ?	60
7.	Discussions et perspectives.....	61
7.1.	Retours sur la méthode utilisée	61
7.2.	Discussion sur les résultats obtenus.....	63
7.3.	Perspectives.....	66
8.	Annexes	69
8.1.	Références bibliographiques	70
8.2.	Portails documentaires ou sites internet consultés.....	76
8.3.	Liste des entretiens « acteurs ».....	80
8.4.	Questionnaire pour les entretiens « agriculteurs »	82

Liste des figures

<i>Figure 1 : effets de dépendance de l'irrigation d'après Di Baldassarre et al. (2018)</i>	5
<i>Figure 2 : charges d'irrigation en €/ha pour 13 systèmes de culture en 2015 (Arvalis : communication internet)</i>	16
<i>Figure 3 : résultats de l'essai maïs (Arvalis, communication internet)</i>	18
<i>Figure 4 résultats de l'essai blé (Arvalis, communication internet)</i>	18
<i>Figure 5 : exemple de bilan hydrique avec Irré-LIS (Arvalis, communication internet)</i>	23
<i>Figure 6 : les différentes échelles spatiales identifiables pour classer les leviers agro-écologiques</i>	24
<i>Figure 7 : exemple de sortie graphique (Arvalis : communication internet)</i>	34
<i>Figure 8 : localisation du bassin Aume-Couture (ETPB Charente, 2017)</i>	44
<i>Figure 9 : détail des volumes relatifs au projet de substitution (ETPB Charente, 2017)</i>	45
<i>Figure 10: axes, actions et état d'avancement du programme d'actions territorial Aume-Couture (communication personnelle)</i>	47
<i>Figure 11 : territoire du bassin du Cher (CA du Cher et al., 2019)</i>	48
<i>Figure 12 : protocole de gestion volumétrique (Gest'eau, 2020 : CTG2Q Cher)</i>	49
<i>Figure 13 : actions et objectifs du protocole sur le territoire du Marais Poitevin (communication personnelle)</i>	50
<i>Figure 14 : matières organiques et RU (source : Isabelle Cousin, INRAE)</i>	51
<i>Figure 15: évaluation des économies d'eau permises par certains leviers techniques et agronomiques à l'échelle d'un territoire (Etude Solagro 2017 Bassin Adour-Garonne)</i>	65

Liste des tableaux

Tableau 1: liste des agriculteurs enquêtés.....	8
Tableau 2 : performances économiques de l'irrigation sur les principales cultures et filières de production irriguées en France	13
Tableau 3: tarification de l'irrigation collective d'après l'étude IRSTEA-2016.....	17
Tableau 4: récapitulatif des services écosystémiques rendus par l'agroforesterie (d'après Christian Dupraz, 2018 : communication internet).....	43
Tableau 5: bénéfices attendus et limites possibles de l'Agriculture Biologique sur les principaux indicateurs environnementaux	54
Tableau 6 : bénéfices attendus et limites possibles de l'ACS en fonction de ses piliers agronomiques.....	55

1. Introduction : contexte de la mission et questions posées

Les aléas climatiques comme la sécheresse sont de plus en plus marqués, difficilement prévisibles et peuvent avoir de lourdes conséquences sur les exploitations agricoles. Les territoires font face à des épisodes de sécheresses de plus en plus fréquents et intenses d'une année sur l'autre avec parfois même l'occurrence de plusieurs sécheresses au cours d'une même année. Ceci a des conséquences notables sur la production agricole et même si elles sont de degrés différents selon les territoires et les filières, on peut considérer que tout agriculteur se sente aujourd'hui concerné.

Dans ce contexte, les demandes en eau d'irrigation augmentent, ce qui peut poser des difficultés sur des territoires où la ressource en eau est déjà limitée. Des conflits d'usage sont à craindre à l'avenir, notamment vis-à-vis de l'approvisionnement en eau potable ou du maintien d'un débit minimum pour la vie aquatique.

Pour répondre à cette demande en eau, des retenues de substitution sont créés ou en projet : ces dispositifs posent question en termes d'impacts environnementaux et génèrent parfois des tensions entre acteurs sur les territoires. Certains auteurs questionnent également la pertinence de ces dispositifs en mettant en évidence des effets de dépendance en cas de sécheresse prononcée (Di Baldassarre et al, 2018).

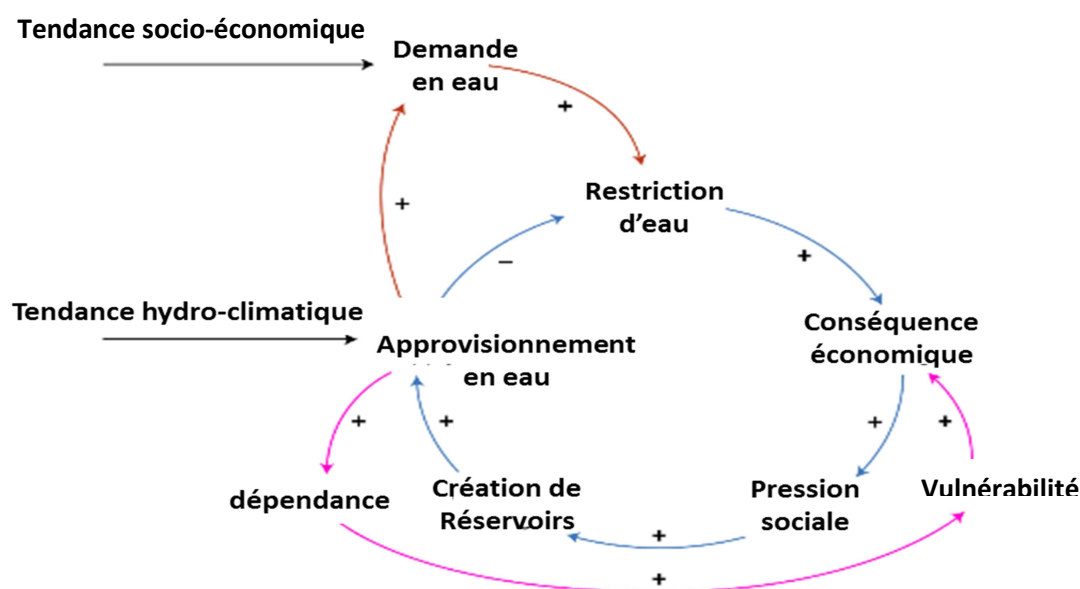


Figure 1 : effets de dépendance de l'irrigation d'après Di Baldassarre et al. (2018)

Dans le même temps, l'agro-écologie est mise en avant pour atteindre les objectifs de durabilité de l'agriculture et assurer la résilience des exploitations agricoles. Elle peut donc être considérée comme un moyen mobilisable par les agriculteurs pour faire face à la sécheresse en alternative ou en complément à l'irrigation.

Cette étude commanditée pour et par le Service Mobilisation de la Recherche de la Direction Recherche et Appui Scientifique de l'OFB vise à réaliser un état des lieux des relations entre agro-écologie et besoins en eau dans ce contexte changeant. Une première étape a consisté à considérer les études antérieures, par exemple l'expertise scientifique collective pilotée par l'INRA en 2006, l'étude Solagro de 2017 sur les économies d'eau sur le bassin Adour-Garonne et un mémoire de stage de 2019 pour l'Agence de l'Eau Seine Normandie (Amigues et al., 2006 ; Aspar J, 2019).

Le sujet étant très vaste avec des délais de réalisation courts (durée de trois mois de fin septembre à fin décembre 2020), nous avons ciblé cette étude sur deux principales questions :

- Quelles sont les performances économiques et environnementales de l'irrigation ? En d'autres termes, quels sont les gains de rendement et de marge par rapport à des systèmes non irrigués ? Quels sont les niveaux d'usages d'intrants ? Peut-on faire de réelles économies d'eau au travers du matériel d'irrigation ?
- Quelles sont les pratiques et systèmes agricoles les plus économes en eau ou bien les plus résilients à la sécheresse, à l'échelle de l'exploitation mais aussi du paysage et du territoire ? Dans le même temps, peut-on identifier des pratiques et systèmes bénéfiques sur d'autres enjeux tels que la réduction d'intrants ?

2. Cadre et méthode

Contrairement aux études antérieures citées en introduction, nous avons fait le choix d'une étude « exploratoire » sur l'ensemble du territoire de France métropolitaine : pour cela, les filières agricoles les plus représentatives ont été étudiées (Grande Culture, Culture industrielle, Polyculture Elevage, Viticulture, Arboriculture, Maraîchage). De plus et afin de prendre en compte différents points de vue, des territoires et filières irrigués comme non irrigués ont été considérés et enquêtés.

L'étude s'est déroulée en deux phases complémentaires : une première phase de veille bibliographique scientifique et technique et une deuxième phase d'entretiens auprès de différents acteurs. Ces deux phases ont permis d'avoir une approche scientifique et empirique du sujet.

Au démarrage de l'étude une entrée par mode de production (Agriculture Biologique et Agriculture de Conservation notamment) avait été envisagée puisqu'il s'agit de modèles agricoles reconnus et facilement identifiables. Cependant et après échanges avec différents collègues et partenaires, il est apparu plus pertinent d'avoir une entrée sur les leviers techniques et agronomiques en tant que tels. En effet, les leviers agro-écologiques peuvent être mobilisés par toutes les exploitations agricoles, quelque soient leurs mode de production. De plus, ce ciblage aurait certainement conduit à omettre des initiatives portées par des agriculteurs sans mode de production affiché. Comme le travail de recherche bibliographique avait déjà été initié, les informations récupérées ont été synthétisées dans deux parties spécifiques du rapport. Les avis des personnes à qui la question a été posée à titre indicatif lors des entretiens ont également été retranscrits dans ces deux parties.

Sur ces trois mois d'étude, le travail réalisé a consisté en :

- 9 entretiens auprès d'agents internes à l'OFB (pôle de Vincennes et directions régionales) pour partager : le contexte, les objectifs de l'étude et la méthode ;
- 37 entretiens auprès de personnes qui seront identifiées pour la suite du rapport comme « acteurs » : conseillers et animateurs, chercheurs et ingénieurs, chargés de mission en Agences de l'Eau ou collectivités... ;
- 17 entretiens auprès d'agriculteurs avec une répartition géographique assez homogène et une représentation des principales filières (cf. tableau 1).

Enfin, les recherches ont été orientées en focalisant sur des territoires ou des initiatives qui semblaient pertinents pour cette étude :

- l'échelle des PTGE (Projet de Territoire Pour la Gestion de l'Eau) où des programmes d'actions territoriaux sont mis en œuvre pour une gestion durable et partagée de la ressource en eau ;
- les initiatives portées collectivement par les agriculteurs, notamment sous la forme de GIEE (Groupement d'Intérêt Economique et Environnemental) ;

Tableau 1: liste des agriculteurs enquêtés

Exploitation	Secteur	Type de production	Mode de production
1	Savoie	Caprins et ovins	Système herbager
2	Drôme	Grande Culture	Conventionnel - Méthanisation
3	Champagne	Grande Culture	Agriculture de Conservation et Bio
4	Gers	Polyculture Elevage	Agriculture Biologique
5	Vienne	Petits Fruits et maraîchage	Agriculture Biologique
6	Loiret	Maraîchage	Agriculture Biologique
7	Savoie	Bovins lait	Système herbager Production sous AOP
8	Isère	Grande Culture	Conventionnel - En Conversion
9	Pyrénées-Orientales	Viticulture	Agriculture Biologique
10	Vienne	Petits fruits et Arboriculture	Agriculture Biologique
11	Bretagne	Bovins Lait	Système herbager et Bio
12	Manche	Bovins lait	Système herbager et Bio
13	Puy de Dôme	Polyculture Elevage	Agriculture Biologique Transformation à la ferme
14	Loiret	Polyculture Elevage	Conventionnel
15	Aude	Viticulture	Conventionnel et Bio - Site INRAE
16	Haute Vienne	Maraîchage	Agriculture Biologique
17	Bretagne	Bovins lait	Système herbager et Bio
18	Haute Vienne	Maraîchage	Agriculture Biologique

3. Performances économiques de l'irrigation

3.1. Contexte : quelques chiffres sur l'irrigation en France

Le rapport IRSTEA de 2012 souligne un recul général de l'irrigation sur la période 2000-2010 (-12% de surface irriguée hors céréales à paille) et une diminution des modes de prélèvement en collectif. Cependant et à l'échelle des filières, l'irrigation du blé et des autres céréales en France a fortement augmenté entre 2000 et 2010 (+184%) ainsi que celle de la vigne (+72%). En termes de surface, on observe des évolutions stables de l'irrigation du maïs et des cultures industrielles et une diminution pour l'ensemble des autres cultures.

La pratique de l'irrigation est quasi systématique en arboriculture (91%) et prédominante en légume (60%). Des cultures comme le maïs fourrage et la pomme de terre sont en moyenne peu irriguées en surface à l'échelle de la France. Cependant, ces cultures ont tendance à l'être systématiquement dès lors que les exploitations sont équipées.

Le rapport CGAAER de 2017 complète ces conclusions par des chiffres relativisant l'impact de l'irrigation sur les prélèvements. En 2010 en France, le volume moyen prélevé pour l'irrigation était de 1700m³/ha/an contre une moyenne européenne de 4000 m³/ha/an (des pays comme l'Espagne ou l'Italie tirent la moyenne vers le haut avec des prélèvements moyens de 4800m³/ha/an (CGAAER, 2017).

Selon la synthèse du Service de l'Observation et des Statistiques sur l'année 2013, les prélèvements agricoles représentent 8% de l'ensemble des prélèvements (2.7 milliards de m³ sur 33 milliards de m³ hors barrages) et sont concentrés sur la période d'étiage des cours d'eau. Or, les prélèvements agricoles proviennent principalement des eaux de surfaces (63%) avec des variations importantes selon les régions (SOeS, 2017).

Point de vigilance : contrairement aux autres usages, l'eau prélevée pour l'irrigation est, dans sa quasi-totalité, consommée par les plantes ou évaporée. Une très faible partie est restituée au milieu, sauf dans le cas de l'irrigation gravitaire. L'irrigation peut ainsi constituer une part très importante des volumes consommés sur la période d'étiage estival. Notons que pour l'eau potable ou le refroidissement des centrales, si une part importante de l'eau prélevée retourne au milieu, les caractéristiques des eaux restituées sont modifiées (température et qualité de l'eau) (OFB, 2019).

3.2. Différentes stratégies d'irrigation

Selon l'expertise INRA de 2006, différentes stratégies d'irrigation peuvent s'observer selon les régions :

- pallier un déficit hydrique chronique dans le Sud-Est ;
- sécuriser les rendements dans le Sud-Ouest ;
- lisser les rendements dans le Centre ;
- répondre aux exigences qualité des filières en cultures spécialisées.

A cela s'ajoute la notion d'irrigation d'appoint qui peut permettre de gagner quelques points de rendement ou de qualité : c'est notamment le cas des céréales dans des régions du Centre et Nord de la France moins déficitaires en eau (Arvalis, communication internet).

Témoignages d'agriculteurs

L'irrigation est aussi un facteur de diversification. En région PACA par exemple, une exploitation sans irrigation n'aura pas du tout le même système de culture qu'une exploitation conduite avec irrigation. Sans irrigation, des cultures comme le maïs, le soja et parfois même le tournesol sont inenvisageables.

Pour un céréalier du Puy de Dôme, la remise en place de l'irrigation dans son système permettrait de pouvoir réintroduire le colza et de se diversifier en légumes secs. L'irrigation du maïs ensilage lui permet également de répondre à la demande de ses voisins éleveurs avec qui il s'est associé pour la vente.

Pour une agricultrice en Petits Fruits dans la Vienne, l'irrigation permet de proposer un panier suffisamment diversifié pour sa clientèle.

3.3. Gains de rendement et de marge brute permis par l'irrigation

Le tableau 2 propose une synthèse des performances économiques de l'irrigation en termes de rendement et de marge brute. Les références sont principalement issues d'articles techniques et de quelques publications scientifiques. Les résultats sont présentés par type de culture ou filière car aucun rapport général n'a pu être identifié. Des données régionalisées pourraient certainement être accessibles grâce aux missions du Service statistique du Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation (Agreste).

La récupération des données économiques n'a pas été possible pour la plupart des entretiens pour des raisons de confidentialité ou d'accès à l'information. Cependant, la plupart des agriculteurs irrigants confortent l'idée d'un gain de rendement et de marge brute ou d'une sécurisation de la production d'une année sur l'autre.

En complément du tableau 2, nous pouvons citer la synthèse de Terre Inovia (institut technique dans le secteur des protéagineux et oléagineux) sur un comparatif des rendements et des marges brutes en système irrigué et sec et sur différents types de sol. Cette synthèse a été réalisée pour les cultures de printemps suivantes : maïs, tournesol, soja, pois, sorgho et orge brassicole (fichier Excel disponible en bas de la page internet suivante : <https://www.terresinovia.fr/-/irriguer-le-tournesol-un-interet-accru-dans-les-sols-superficiels-et-intermediaires>).

Enfin, le rapport CGAAER de 2017 a réalisé une évaluation des impacts socio-économiques d'une réduction ou d'une suppression des volumes d'irrigation à l'échelle des territoires et à système agricole constant, c'est-à-dire sans changement sur les exploitations agricoles. Les principales conclusions sont les suivantes :

- Des conséquences variables selon les régions mais dans tous les cas des pertes significatives en rendement et en revenu. Des effets possibles sur l'emploi agricole et agroalimentaire par rapport aux volumes générés et aux besoins de main d'œuvre (en Hauts-de-France, l'agriculture irriguée génèrerait 4 fois plus d'emploi que l'agriculture non irriguée selon les estimations des Chambres d'Agriculture et industries agroalimentaires enquêtées) ;
- En Méditerranée et Drôme, le risque est de perdre des exploitations agricoles à cause d'une production insuffisante ou d'une impossibilité de diversification, qui s'aggrave avec l'étalement urbain ;
- Dans les régions d'élevage, le maintien des prairies et des petites exploitations est remis en cause ;
- Dans des territoires comme la Beauce, le risque est de retrouver des rotations courtes d'hiver de type colza-blé-orge. Ces rotations présentent souvent des pressions adventices plus importantes car leurs cycles de développement ne sont pas rompus par la présence des cultures de printemps. Les usages phytosanitaires peuvent donc être plus importants sur ce type de rotation ;

L'hypothèse forte prise dans ce rapport consistant à travailler à système agricole constant est l'objet de vives critiques vis-à-vis de cette étude, notamment en termes de perspective. En effet, comme cela est mentionné dans l'article de Di Baldassare et al, (2018), suite à la mise en place de retenues d'eau par exemple, certaines exploitations ont modifié leur assolement et dépendent de ressources en eau qui ne reflètent pas la disponibilité naturelle des ressources en eau du bassin versant. Elles sont alors particulièrement vulnérables à des sécheresses longues et intenses qui ne permettraient pas de remplir les retenues existantes et un partage équitable de l'eau à l'échelle du bassin versant, risque identifié dans les études d'impact du changement climatique (Habets, F. 2019).

Tableau 2 : performances économiques de l'irrigation sur les principales cultures et filières de production irriguées en France

Culture	Contexte pédoclimatique	Gain de rendement	Gain de marge brute*	Commentaire	Source
Maïs	Bassin Adour-Garonne et Nouvelle Occitanie	20 à 40 q/ha	8000 à 12000 €/exploitation/an Ecart à l'EBE : 25%	L'avantage économique est démontré dans le contexte de l'étude (faible prix de l'eau et prix du maïs moyen à 140 €/T). L'étude n'a pas pris en compte les coûts d'investissement.	Agreste 2017 : campagnes 2012-2013-2014
Tournesol	Références nationales	Par tranche de 10mm sur sols superficiels (RU de 80 mm) : 1,2 à 1,4 q/ha Par tranche de 10mm sur sols moyens et profonds (RU de 130 mm) : 0,8 à 1 q/ha	100 à 300 €/ha pour un prix de l'eau de 0.15 €/m3	Les écarts sont plus importants pour des sols superficiels et/ou des étés secs. Une seule irrigation de 40mm fin floraison apporte un gain de rendement de 5q/ha par rapport à une conduite sans irrigation et permet d'augmenter la teneur en huile de 4 points. L'irrigation n'a aucun effet sur la teneur en acide oléique.	Terre Inovia 2019
Soja	Station Blagnac	Système irrigué : 35 à 40 q/ha en sol profond et superficiel Système sec : 15 q/ha en superficiel, 21q/ha en sol profond			Terre Inovia 1990-2003
	Références nationales	8 à 10 q/ha pour 100mm d'apport en eau		L'eau est un facteur limitant important pour le soja (400mm pour obtenir un rendement d'au moins 35q/ha). L'irrigation permet également de sécuriser la teneur en protéines.	Terre Inovia 2020
Pois et féveroles	Charente Maritime	Par tranche de 10mm d'eau : 1,5 à 2 q/ha			Arvalis années 2000

Sorgho	Sud-Ouest			Sans irrigation, le sorgho donne un meilleur rendement que le maïs. En irrigué, le sorgho apporte une meilleure marge seulement si le rendement du maïs est inférieur à 11T/ha selon le contexte de l'étude.	Debaeken et al., 2008
	Tarn	Par tranche de 10mm d'eau : 2 à 3 q/ha			Arvalis
Céréales à paille	Références nationales	Par tranche de 10mm d'eau : 1,7 à 2,7 q/ha toutes situations confondues		Deux stratégies existent : pallier au déficit hydrique ou valoriser un apport d'engrais. En effet, il est nécessaire d'avoir au moins 15mm d'eau dans les 15 à 20 jours suivant l'apport. Dans le cas contraire, le risque de perte de rendement est de 10 à 20q/ha. Cette irrigation d'appoint est mieux valorisée sur des sols superficiels.	Arvalis
Betteraves sucrières	Loiret	Gain de 26%		Des rendements plus stables d'une année sur l'autre, ce qui est un atout vis-à-vis des sucreries.	ITB Loiret 1999-2013
	Centre Val de Loire		Gain de 500 €/ha		ITB Centre Val de Loire 2006-2019
Pommes de terre	Hauts de France	Selon les régions et les années : perte de 11 à 42% en non irrigué pour une même variété			AgroTransfert Projet Eau'ption plus
Vigne	Occitanie	50 à 100mm d'eau : gain de 0 à 50%		Les stratégies d'irrigation sont fonction des objectifs de production (rendement ou qualité), en lien avec le marché (appellations, vins de pays...) et sachant que certains cahiers des charges interdisent l'irrigation.	INRAE (entretiens) Institut Français de la

				<p>En système irrigué, le taux de sucre optimal est atteint plus tôt ce qui permet d'avancer la récolte et d'éviter des problèmes de biomasse ou d'acidité du vin.</p> <p>La vigne a besoin d'un stress hydrique modéré pour produire de la qualité, les besoins en eau étant autour de 250mm au cours de la saison. L'irrigation est une solution possible mais à considérer comme la dernière alternative. L'irrigation déficitaire est à privilégier.</p>	<p>vigne et du vin, 2011</p> <p>E. Neethling, thèse 2016</p> <p>Van Leeuwen et al., 2016</p>
Prairies	Savoie	7 T de matière sèche/ha contre 4 en prairies non irriguées. La pousse d'herbe est 4 fois plus importante.		<p>L'irrigation est historique du fait d'un climat sec et de réserves utiles faibles. L'irrigation est nécessaire pour garantir la production (cahier des charges exigeant 75 % de la ration issue de l'exploitation) sur des surfaces limitées. L'irrigation permet aussi de maintenir une certaine diversité florale dans la prairie, garantissant la qualité des fourrages.</p> <p>Les pratiques d'irrigation sont également historiques sur ce territoire. Elles permettent de maintenir la productivité des prairies et d'éviter un système à base d'ensilage.</p>	<p>Entretiens GIEE Eau'optimiser</p> <p>Entretiens GIEE Champsaur</p>
Arboriculture et maraichage				Etudes comparatives non identifiées	

*Les gains de marge brute sont fonction de la variabilité des charges d'irrigation (eau et électricité), des prix de vente et des aides PAC.

3.4. Coûts liés à l'irrigation

Les coûts d'irrigation se définissent selon différents types de charges : les charges fixes (amortissement, entretien du matériel, adhésion...), les charges variables (consommations d'eau et d'électricité) et les charges de main d'œuvre.

Arvalis dispose d'un certain nombre d'outils internes utilisés pour la conduite de projet. La calculette des coûts d'irrigation en fait partie et a été utilisée pour exemple sur 13 systèmes de cultures (référence) en 2015 (Arvalis, 2020) : les charges d'irrigation sont en moyenne de 500 €/ha ou de 19 centimes/m³ mais présentent une forte variabilité selon les systèmes : de moins de 300 à plus de 800 €/ha ou de moins de 15 à presque 30 centimes/m³. D'après la figure 2, les charges d'investissement pour les 13 systèmes de cultures représentent la part la plus importante des charges, suivies par les charges d'électricité. Nous pouvons noter que les charges liées au prix de l'eau sont faibles à l'exception du système de culture A5 (le détail des systèmes de cultures et le prix de l'eau ne sont pas fournis dans cette communication).

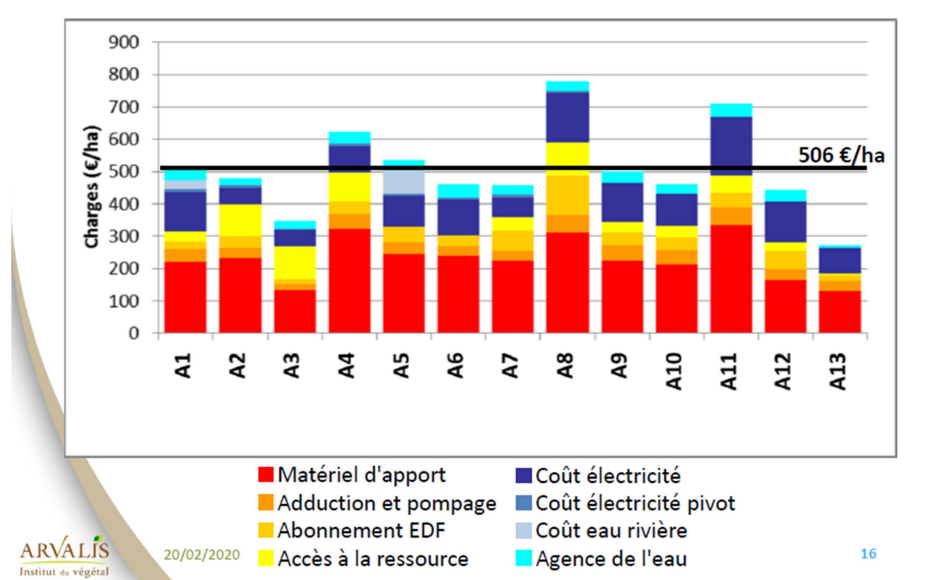


Figure 2 : charges d'irrigation en €/ha pour 13 systèmes de culture en 2015 (Arvalis : communication internet)

En viticulture, les charges d'irrigation sont estimées en moyenne à 500 €/ha (Van Leeuwen et al., 2016).

Enfin, les réseaux collectifs d'irrigation ont été étudiés par l'IRSTEA en 2016 sur la base de plus de 300 questionnaires d'enquêtes complétés par les structures en charge de la gestion collective de l'eau (OUGC). La diversité des modes de prélèvement et des forfaits utilisés complexifie l'analyse de la tarification. En effet, trois grands systèmes tarifaires peuvent être considérés : le tarif forfaitaire (facture indépendante des volumes consommés), le tarif proportionnel (facture dépendante des volumes consommés) et le tarif binomial (facture

présentant une part fixe et une part variable). Des systèmes hybrides existent aussi. Les réseaux peuvent utiliser un seul ou plusieurs de ces systèmes tarifaires en fonction de leur fonctionnement. Le tableau 3 reprend quelques résultats de cette étude :

Tableau 3: tarification de l'irrigation collective d'après IRSTEA (2016)

Type de réseaux	Tarif moyen		Prix moyen
	Partie fixe	Partie variable	
Réseaux sous pression à un tarif			0.15 €/m ³
- Forfait surface	227 €/ha		
- Binomial surface	132 €/ha	0.10 €/m ³	
- Binomial débit	62 €/m ³ /ha	0.11 €/m ³	
Réseaux sous pression à plusieurs tarifs			0.08 €/m ³
- Forfait surface	161 €/ha		
- Binomial surface	102 €/ha	0.09 €/m ³	
- Binomial débit	49 €/m ³ /ha	0.13 €/m ³	
Réseaux gravitaires à un tarif			0.01 €/m ³
- Forfait surface	92 €/ha		
Réseaux gravitaires à plusieurs tarifs			0.01 €/m ³
- Forfait surface	172 €/ha		

Les coûts liés à l'irrigation vont donc varier selon le type d'exploitation, sa taille, le matériel utilisé et le mode de prélèvement (individuel/collectif ; gravitaire/sous pression ; rivière/eaux souterraines/retenues). Les entretiens réalisés auprès des agriculteurs n'ont pas permis de récupérer suffisamment de données pour faire une analyse de la tarification.

Les possibilités d'aides à l'investissement au travers des dispositifs « Plan de Compétitivité et d'Adaptation des Exploitations Agricoles » (PCAE) sont variables d'une région à l'autre. Ces programmes présentent des seuils plancher et plafond qui peuvent freiner l'investissement (communication personnelle).

Enfin, on peut questionner la pertinence de l'évaluation coût-bénéfice à l'échelle du bassin versant. En effet, l'eau étant un bien commun, l'évaluation économique à l'échelle du bassin versant permet de prendre en compte les coûts liés à l'irrigation pour l'ensemble des usages de l'eau. C'est dans ce sens que l'instruction du 9 mai 2019 sur les PTGE a été rédigée, prescrivant la mise en place d'évaluations économiques à l'échelle du territoire. Contrairement aux analyses financières qui se placent d'un point de vue privé et sur un horizon de 10 à 15 ans (amortissement des investissements), les analyses économiques se placent du point de vue de l'intérêt général et sur des périodes plus longues (environ 40 ans, soit la durée de vie des infrastructures publiques). Elles permettent d'aller plus loin à l'échelle du bassin versant en prenant notamment en compte les notions de récupération des coûts lorsque les ouvrages ou des infrastructures publiques sont mis en place (Loubier et al., 2019).

4. Performances environnementales de l'irrigation

4.1. Sur le paramètre Azote

Selon Arvalis, les apports azotés en système irrigué sont en général plus élevés du fait d'objectifs de rendement plus importants. Cependant, si la fertilisation est bien ajustée (prise en compte des reliquats, pilotage et fractionnement), il n'y a pas plus de risque de lessivage par rapport à un système non irrigué. De par leurs caractéristiques, les sols filtrants à faible réserve utile peuvent présenter plus de risques de lessivage si l'irrigation n'est pas correctement ajustée (excès d'eau en fréquence et en volume) (Arvalis, communication internet).

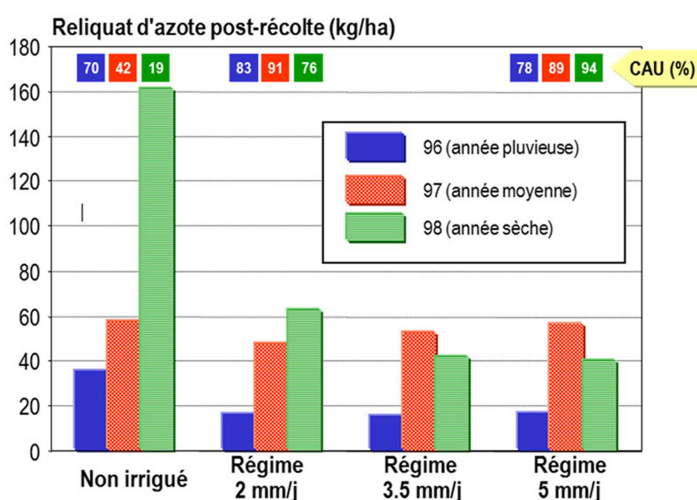


Figure 3 : résultats de l'essai maïs (Arvalis, communication internet)

Pour illustrer cela, la figure 3 présente des résultats d'essais sur maïs en Alsace : les reliquats post-récolte sont plus élevés en situation non irriguée. Les valeurs de CAU (Coefficient Apparent d'Utilisation qui permet d'évaluer la valorisation de l'engrais par la culture) sont très mauvaises lorsque la parcelle est en déficit hydrique (19 % pour le non irrigué).



Figure 4 résultats de l'essai blé (Arvalis, communication internet)

Un autre essai conduit en 2011 dans le Loir-et-Cher confirme qu'à fertilisation équivalente, le blé non irrigué ne valorise pas correctement l'engrais. Les reliquats post-récolte en situation non irriguée sont ici bien supérieurs de 139kg/ha contre 53kg/ha en blé irrigué (figure 4).

Dans le cadre d'une thèse en 2017, Barakat a étudié les flux d'azote dans différents systèmes d'irrigation sur maïs près de Montpellier. L'état de l'art conclut qu'il est difficile d'établir des liens clairs entre flux d'azote et irrigation. D'autres facteurs, comme les pratiques de fertilisation et l'activité biologique des sols entrent en jeu. Considérant cela, les résultats au champ et les simulations issues de la modélisation ont montré des niveaux de minéralisation différents selon le système d'irrigation. Le système en goutte à goutte serait le plus performant d'un point de vue de l'azote.

Aucune étude comparant des systèmes irrigués et des systèmes non irrigués n'a été identifiée. De plus, les valeurs de reliquats azotés ne constituent pas un indicateur suffisant pour évaluer les flux de nitrates dans le sol. Il faudrait pour cela mettre en place des dispositifs expérimentaux avec des bougies poreuses ou des lysimètres : aucune étude présentant ce type de dispositifs n'a été identifiée.

Enfin et concernant les risques liés à la volatilisation pour les formes d'engrais les plus sujets à ce problème (notamment l'urée), ils seraient mieux maîtrisés en situation irriguée car l'eau d'irrigation permet une diffusion de l'azote plus rapide dans le sol (Arvalis, communication internet).

4.2. Sur le paramètre Produits Phytosanitaires

En général, les risques de maladies sont plus élevés en système irrigué car le développement foliaire est plus important et l'humidité relative sur la parcelle est augmentée. Les risques sont particulièrement importants sur culture de pomme de terre (mildiou), sur betteraves (cercosporiose) et sur céréales à paille (fusariose) (Turkington et al., 2004 ; Cafe-Filho et al., 2019). De ce fait, on peut supposer un usage plus important de fongicides sur des exploitations irriguées, mais cela dépendra de la stratégie de chaque agriculteur. Les niveaux de traitements phytosanitaires n'ont pas pu être récupérés dans le cadre des entretiens auprès des agriculteurs : cette hypothèse n'a donc pas pu être vérifiée.

Le choix du matériel d'irrigation et le pilotage peuvent permettre d'influencer sur les risques de développement de la maladie : par exemple, sur mildiou de la pomme de terre, le matériel choisi aura un effet sur le lessivage des produits de contact, les recouvrements de passages et le temps durant lequel la plante recevra de l'eau sur ses feuilles... (Arvalis et ITB : communications internet).

4.3. Sur les risques de verse

Les risques de verse* peuvent être également plus importants en situation irriguée notamment au stade post-épiaison sur céréales à paille.

**Verse : accident de végétation touchant certaines cultures qui se trouvent couchées au sol, ce qui entraîne le plus souvent une baisse importante du rendement mais peut également provoquer une dégradation de la qualité du grain et rendre la récolte plus difficile (source : Wikipédia).*

En effet, les épis peuvent se charger d'eau ce qui augmente leurs poids. Cependant, l'irrigation est plutôt à considérer ici comme un facteur aggravant : les choix variétaux, les dates et densités de semis et les niveaux de fertilisation azotée sont à prendre en compte en premier lieu.

Ainsi, l'agriculteur peut réduire les risques en adaptant ses pratiques culturales puis ses pratiques d'irrigation (Arvalis, communication internet).

4.4. Economies d'eau potentielles en irrigation

Il est important de considérer l'investissement que représente l'irrigation pour la plupart des exploitations agricoles. Une fois le système en place, il est difficile de revenir en arrière et les agriculteurs optimiseront au maximum l'utilisation de leur matériel pour l'amortir rapidement. Considérant cela, il est donc pertinent de s'intéresser aux économies d'eau potentielles permises par le matériel d'irrigation et les outils d'aide à la décision.

4.4.1. Sur le matériel d'irrigation

L'aspersion est le mode d'irrigation majoritaire en France (enrouleurs, pivots et rampes frontales...). La micro-irrigation reste minoritaire : elle intègre la micro-aspersion, le goutte à goutte de surface et le goutte à goutte enterré (IRSTEA, 2017).



GIEE Eau'optimiser



France-pivots

Sans perte notable en rendement, les économies d'eau potentielles par des changements dans les systèmes d'irrigation à l'échelle de l'exploitation seraient pour (IRSTEA, 2017 et 2019 ; SOLAGRO, 2017) :

- Les grandes cultures, enrouleurs vers pivots : de 10 à 25%
- Les grandes cultures, aspersion vers goutte à goutte : de 10 à 35%
- L'arboriculture, aspersion par frondaison vers micro-jet : de 13 à 60%
- L'arboriculture, aspersion par frondaison vers goutte à goutte : de 28 à 46%
- Le maraichage, aspersion vers goutte à goutte : de 17 à 43%
- L'utilisation de capteurs en grandes cultures et arboriculture : 20 à 25%
- L'utilisation de capteurs en maraichage : 45 à 50%
- Le réglage, l'entretien, les équipements (vanne, brise-jet, angles réglables...) : 5 à 15%

Pour évaluer les économies d'eau au travers du matériel d'irrigation, la notion d'efficience est généralement utilisée, à savoir le rapport entre le volume d'eau apporté et le volume d'eau réellement disponible pour la plante. L'efficience va varier selon une multitude de facteurs : matériel, cultures, stades de développement, types de sols, pratiques culturales, pertes en réseau, année climatique... C'est donc peut-être la raison pour laquelle des essais conduits localement ne montrent pas toujours des résultats probants (exemple des essais Arvalis sur maïs dans la revue Perspectives Agricoles 2018 et 2019).

Ces économies d'eau ne sont cependant pas toujours observables à l'échelle des territoires notamment à cause des risques d'effets rebond. Cette notion peut se traduire selon plusieurs facettes d'après les travaux de Luciano Mateos en Espagne (Mateos, 2020) :

- première facette : la modernisation de l'irrigation entraîne une diminution des consommations d'eau mais une augmentation de l'évapotranspiration ;
- deuxième facette : les économies d'eau réalisées peuvent entraîner une augmentation des surfaces irriguées dans le cas où le foncier n'est pas limitant (autorisations de prélèvement en termes de volume et non de surface) ;
- troisième facette : considérant les gains de rendement et de marge, il est tentant de faire pression pour obtenir plus d'eau ;

Les rapports de l'IRSTEA et de SOLAGRO concluent sur la nécessité d'aller au-delà de ces leviers pour des économies d'eau significatives à l'échelle d'un bassin versant.

Témoignages d'agriculteurs et d'acteurs

Pour le GIEE Eau'optimiser en Savoie, le passage du jet à l'enrouleur pour l'irrigation des prairies, complété par un bon pilotage, a permis de passer d'un état initial de 2400m³/ha en 2015 à 1730m³/ha en 2018. Aujourd'hui et selon la variabilité climatique de l'année, les consommations d'eau sont estimées entre 1600 et 2000m³/ha/an. Le groupe n'a pas pu s'orienter vers la micro-aspiration car ce système n'est pas adapté à leur territoire de moyenne et haute montagne. Globalement, les travaux menés par ce GIEE permettent d'estimer une économie d'eau de 20 à 30% pour un résultat économique équivalent à l'échelle des exploitations agricoles de ce territoire.

Une expérimentation menée en Picardie entre 2007 et 2012 sur la micro-irrigation en pommes de terre a montré une économie d'eau moyenne de 40% avec maintien des rendements et de la qualité. Ces systèmes ne sont pas déployés à grande échelle en raison des coûts d'investissement et d'une installation lourde en main d'œuvre en début de campagne.

Quant au GIEE SAEL en maraichage et arboriculture, le goutte à goutte a finalement été délaissé au profit de systèmes plus efficaces pour leur contexte pédoclimatique comme l'aspersion et le microporeux.

Enfin, certains agriculteurs ont fait part de leur difficulté à dimensionner leur système d'irrigation en l'absence de références adaptées à leurs petites surfaces.

Une piste de développement de plus en plus citée dans les articles techniques est le goutte à goutte enterré, applicables en grandes cultures et en arboriculture.



Sciences, eaux et territoires n°11-2013

En grande culture, des travaux sont conduits depuis une dizaine d'années par l'INRAE anciennement IRSTEA sur le site de Lavalette à Montpellier. Les résultats les plus récents montrent des économies d'eau de l'ordre de 20 à 30% par rapport à des systèmes d'irrigation classiques.

D'autres avantages sont cités : souplesse de travail, réduction des charges de main d'œuvre (pas besoin de déplacer le matériel pour les travaux culturaux et programmation des arrosages) et meilleure valorisation de l'azote (Mailhol et al, 2013).

Les essais menés par la Chambre d'Agriculture des Landes sur maïs et soja dans le cadre du programme régional d'appui technique aux irrigants montrent des économies d'eau de l'ordre de 26% par rapport au pivot en moyenne sur 2012-2017. Les rendements diminuent légèrement, d'environ 6% (Chambre d'Agriculture des Landes, résultats d'essais 2019).

Ces économies d'eau potentielles restent à relativiser : en l'absence de pluies au printemps, une irrigation complémentaire par aspersion peut s'avérer nécessaire, obligeant l'agriculteur à investir sur les deux dispositifs. Le goutte à goutte enterré requiert également beaucoup d'entretien et un pilotage très précis (Dominique Rollin, 2016). Enfin, tous les parcellaires et types de sol (par exemple les sols de type sablo-limoneux) ne sont pas adaptés à ce système d'irrigation, selon Mailhol et al. (2013) et comme en témoigne un conseiller du groupement CETA AGRO'DOC dans le Sud-Ouest de la France (communication personnelle).

En arboriculture, des essais conduits par ARDEPI en région PACA montrent des économies d'eaux significatives mais finalement très variables selon les types de sols, les espèces et l'âge des vergers. Dans ce dispositif expérimental, les essais pruniers ont été conduits sur sols filtrants limono-sableux avec galets de Durance et les essais pommiers sur sols profonds argilo-limono-sableux (Vaucluse Agricole, 2018).

4.4.2. Sur les outils d'aide à la décision

Il existe aujourd'hui des Outils d'Aide à la Décision (OAD) qui permettent de mesurer les besoins en eau des cultures et ainsi d'ajuster l'irrigation. Ces modèles de bilan hydrique sont aujourd'hui développés sous forme de logiciels en accès libre ou payant pour accompagner les irrigants (Irré-LIS, voir figure 5 ; IRRINOV ; NET-IRRIG...).

Selon l'étude Solagro de 2017, l'utilisation des outils d'aide à la décision permettrait une économie d'eau de l'ordre de 10 à 25% selon les exploitations. Enfin et selon les entretiens réalisés, ces outils sont bien diffusés et assez souvent utilisés par les agriculteurs.



Figure 5 : exemple de bilan hydrique avec Irré-LIS (Arvalis, communication internet)

Zoom sur les besoins en eau des cultures

Le besoin en eau des cultures est une composante fondamentale du pilotage de l'irrigation. Ce besoin va varier selon les contextes pédoclimatiques, bien que l'on retrouve des têtes de liste comme le maïs quel que soit le territoire (Brisson, 2008). Le besoin en eau des cultures est donc un paramètre utilisé dans les OAD décrits précédemment.

A l'échelle d'une culture, le besoin est déterminé par l'Evapotranspiration Maximale de la Plante ou ETM, en mm/jour. Elle caractérise la capacité maximale d'une plante à consommer de l'eau sans restriction.

Ainsi $ETM = ETP * KC$ où :

- ETP : quantité d'eau évapotranspirée par un couvert de type gazon sans restriction ;
- KC : coefficient cultural relatif aux besoins en eau d'une culture donnée en fonction de son stade de développement ;

Ensuite et pour déterminer les besoins en eau d'irrigation, les bilans hydriques prennent en compte les pluies efficaces, les réserves en eau du sol ainsi que les capacités d'enracinement de la plante. Les niveaux de réserves utiles sont obtenus par analyse granulométrique en laboratoire ou en s'appuyant sur des références locales.

Selon les régions et les filières, des référentiels de besoins en eau peuvent être mis à disposition des irrigants (exemple d'une brochure en région PACA-2014).

5. Des leviers agro-écologiques, à différentes échelles

Les leviers agro-écologiques peuvent être catégorisés selon les échelles spatiales sur lesquels ils interviennent. Sur la figure 6, les flèches mettent en évidence les interactions de ces différentes échelles entre elles afin de montrer qu'une pratique peut s'envisager à différents niveaux et dans une approche plus globale de l'exploitation agricole. Par exemple, la réduction du travail du sol peut être affectée à l'échelle de la parcelle mais il peut s'agir pour l'agriculteur d'une pratique réalisée à l'échelle de son système de culture pour des raisons agronomiques, techniques ou économiques.

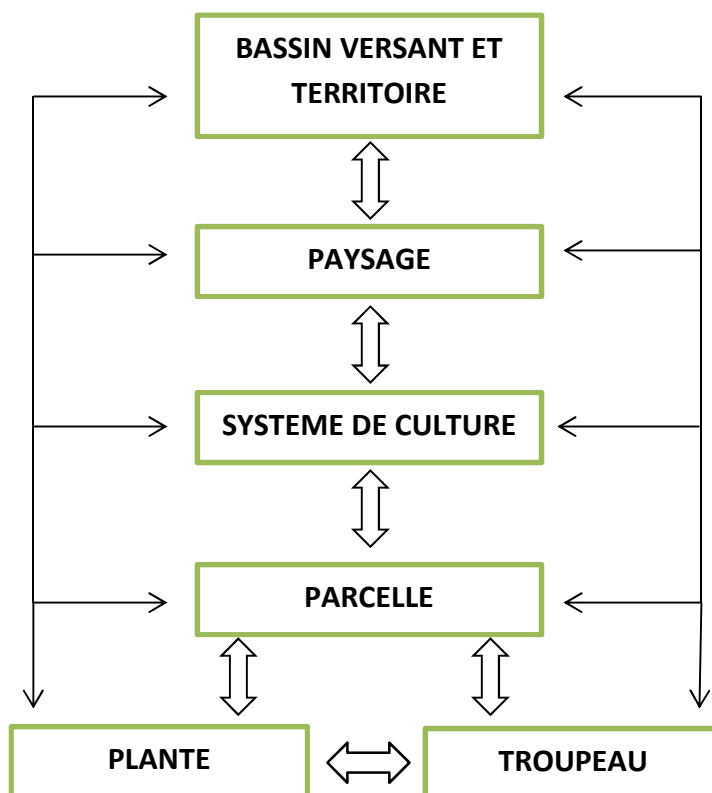


Figure 6 : les différentes échelles spatiales identifiées pour classer les leviers agro-écologiques

5.1. Echelle du végétal ou du troupeau

5.1.1. Le choix des variétés, des cépages et des races

Que ce soit en grande culture, polyculture élevage ou en arboriculture, le choix de variétés plus résistantes à la sécheresse s'avère être un levier pertinent d'après différentes publications scientifiques (expertise INRA de 2006 notamment). Les acteurs et agriculteurs rencontrés citent systématiquement ce levier et souvent en premier lieu.

En grande culture, l'étude Solagro de 2017 sur le Bassin Adour Garonne confirme l'intérêt des variétés plus précoces pour éviter les périodes de stress hydriques. Cependant, les variétés tardives présentent en général des potentiels de rendement plus élevés, ce qui peut freiner l'agriculteur dans ce choix. Ce dernier prend également en compte d'autres paramètres comme la tolérance aux maladies et la résistance aux risques de verse.

En arboriculture fruitière, le choix de variétés résistantes à la sécheresse n'est pas toujours facile à mobiliser : en effet, dans le passé, les orientations de la recherche étaient portées sur le goût et l'aspect visuel des fruits pour se conformer aux attentes des consommateurs et aux contraintes réglementaires des appellations. Bien que la sélection soit dorénavant de plus en plus orientée sur la sécheresse, la mise en œuvre sur l'exploitation n'est pas toujours immédiate à cause des coûts d'installation d'un nouveau verger (Legave, 2009).

En viticulture, la sélection de cépages et porte-greffes plus résistants à la sécheresse fait partie des leviers d'adaptation cités dans la bibliographie et notamment dans les conclusions du programme de recherche pluridisciplinaire LCAVE (Ollat et al., 2018 ; Duchêne, 2016 ; Van Leeuwen et al., 2016). Il s'agit d'une stratégie de moyen terme, seulement mobilisable au moment d'une nouvelle plantation. Enfin et comme pour l'arboriculture, la sélection s'était dans le passé plus orientée sur la tolérance aux maladies. Les références doivent donc être complétées et cela prend du temps.

Témoignage de viticulteurs

Au sein du GIEE de la Clape dans l'Aude, de nouveaux cépages plus résistants à la sécheresse vont être testés mais pas chez tous les membres en raison des risques pris et de l'anticipation nécessaire. Les résultats seront partagés collectivement.

Pour un membre du GIEE Couvreur de vigne dans les Pyrénées Orientales, le choix de cépages résistants s'est fait au fur et à mesure des plantations sachant que son cahier des charges propose une liste suffisamment large de cépages rustiques et locaux. Cette souplesse n'est pas forcément observée pour toutes les appellations de France.

En élevage, le croisement de races peut être un levier d'adaptation à la sécheresse à moyen terme en permettant d'augmenter la rusticité du troupeau. Ces croisements sont étudiés dans le cadre du programme OASYS de l'unité expérimentale de Lusignan dans la Vienne (Novak en al., 2018). Ce levier est aujourd'hui bien mobilisé sur les exploitations d'élevage du territoire, tout système confondu (profils herbager et maïs) (Sandra Novak, communication personnelle).

Témoignage d'éleveurs

Dans ce même objectif, le croisement de races est réalisé par les éleveurs laitiers enquêtés. Cependant, les niveaux de croisement et les races utilisées vont fortement varier d'une exploitation à l'autre, selon le contexte pédoclimatique, les objectifs de production, le système plus ou moins pâturant adopté... Certains éleveurs préfèrent donc conserver une majorité du troupeau en race unique en travaillant sur l'amélioration de leur profil génétique (par exemple, des animaux de plus petite taille en race Holstein).

5.1.2. Les mélanges variétaux

Selon les entretiens, le mélange variétal est expérimenté dans le but d'une résilience du système face aux aléas, qu'ils soient climatiques ou non (maladies, ravageurs...). Les agriculteurs utilisant ce levier constatent ou espèrent (selon le niveau de recul) une stabilisation des rendements et de la qualité.

Le projet pluridisciplinaire Wheatamix (porté par plusieurs centres de recherches INRAE et chambres d'agriculture) a étudié l'intérêt des associations variétales pour augmenter la durabilité des productions agricoles du Bassin Parisien entre 2014 et 2018, notamment sur la culture du blé. Les résultats montrent un impact positif des associations variétales comparativement à des situations en pur dans 70% des cas étudiés (rendement supérieur à la moyenne de leurs composantes cultivées en culture pure). Dans 90% des cas, le mélange variétal apporte un meilleur rendement que la moins bonne composante en variété pure, traduisant l'intérêt des mélanges en cas d'aléas biotiques ou abiotiques (Enjalbert et al., 2019). A l'inverse, des essais menés par Arvalis dans le centre de la France entre 2010-2011 n'ont pas montré de différentiel de rendement significatif sur 4 variétés de blé tendre (Arvalis, communication internet).

En prairies, des études montrent un effet positif de la diversité génétique des espèces prairiales sur la production de biomasse et leur stabilité dans le temps (Barot et al., 2017).

Témoignage d'une arboricultrice dans la Vienne

Le verger est consisté d'un mélange de 19 variétés de pomme, sélectionnées sur la base de différents critères, dont celui de la sécheresse. Les risques climatiques, maladies et ravageurs sont donc dilués. Les récoltes sont décalées dans le temps ce qui permet d'alléger la charge de travail. Les arbres ont été plantés à faible densité dans cette même logique.

5.1.3. L'avancement des dates de semis

Ce levier permet de décaler le cycle cultural de manière à éviter que les stades les plus sensibles soient réalisés durant la période estivale. En couplant le choix variétal, la précocité et les dates de semis, Solagro estime des économies d'eau potentielles sur le Bassin Adour-Garonne de 10 à 15%, soit 200 à 300m³/ha. L'avancement des dates de semis que ce soit à l'automne ou au printemps est cependant à évaluer au regard des conditions d'implantation : elles doivent être optimales pour assurer la levée de la culture et en conséquence éviter le développement des adventices, dont la conséquence pourrait être un usage plus important d'herbicides (l'étude n'a pas identifié de références à ce sujet).

5.1.4. L'entretien des vignes

Les pratiques d'entretien sont largement répandues à l'échelle des exploitations viticoles. Ces solutions pallient au manque d'eau d'une année sur l'autre (Bardeau et al., 2015).

La taille en gobelet est une taille courte d'origine romaine et répandue dans le midi de la France. Elle se caractérise par un tronc plus ou moins haut et des bras en cornes (vieux bois) terminés par un ou deux coursons (bois de l'année dernière et qui correspondent aux sarments à tailler) portant chacun deux ou trois bourgeons. Aucun palissage, c'est à dire conduite sur fil de fer, n'est nécessaire (*définition sur : dico-du-vin.com*).



La taille en gobelet fait partie des modes d'entretien plus adaptés aux situations de sécheresse. En effet, la surface foliaire de la vigne est réduite, ce qui permet une réduction de la transpiration. Les rendements sont en général plus faibles mais cela est compensé par une réduction des charges opérationnelles. La qualité des raisins n'est quant à elle pas détériorée. Le principal frein à son adoption est l'absence d'équipements de vendange adaptés ce qui pose la question de réinvestir la recherche dans le machinisme viticole. (Van Leeuwen et al., 2016)

Témoignage d'un viticulteur

Sur le domaine, la taille en gobelet est mise en place au fur et à mesure du renouvellement des plantations. Cependant, la technique ne va pas résoudre les problèmes en cas de températures extrêmes. Le viticulteur étant en récolte manuelle du fait des caractéristiques de son parcellaire (pentes), la problématique du machinisme ne l'a pas concerné.

5.1.5. Adapter le troupeau aux ressources locales

Il est tout d'abord possible de réduire le chargement afin d'adapter le nombre d'animaux au potentiel de production fourragère. Ce levier n'est pas aisément mobilisable sur toutes les exploitations agricoles pour des raisons de rentabilité économique, comme en témoigne un conseiller de la structure AgroBio Bretagne dont les exploitations en vaches laitières sont déjà à des niveaux de chargement bas (moins de 1 UGB/ha) (communication personnelle).

Sur le site expérimental INRAE de Lusignan, les périodes de vêlages ont été adaptées à la disponibilité fourragère. Ainsi, les premiers vêlages ont été avancés à 24 mois et les périodes de lactation allongées. Le système étant en transition, plusieurs années d'expérimentation sont encore nécessaires pour définir la plus optimale des conduites (Sandra Novak, communication personnelle).

Témoignage d'un éleveur en Bretagne

Auparavant, les vêlages s'étaient toute l'année sans période définie. Dorénavant, ils sont groupés fin août-début septembre de manière à réduire la production de lait l'été. L'exploitation se conduit donc en mono-traite au printemps et en double traite en hiver et à l'automne, ce qui permet également une plus grande souplesse de travail. L'inconvénient est la nécessité d'avoir des stocks fourragers l'hiver de bonne qualité.

5.1.6. Maximiser le pâturage

Allonger le temps de pâturage permet de mobiliser moins de surfaces en cultures fourragères. Dans les régions où les cultures fourragères sont généralement irriguées, cette pratique permettra donc de faire des économies en eau d'irrigation. De plus, les fourrages en vert sont plus riches en eau que les fourrages secs, ce qui permettrait *a priori* de réduire les besoins en eau d'abreuvement. Ainsi, le site expérimental INRAE de Lusignan teste l'allongement estival du pâturage mais aussi le pâturage sur céréales d'hiver à un stade jeune. Le report sur pied (qui consiste à retarder le pâturage d'une pousse d'herbe) peut également être pratiqué pour anticiper les manques d'herbe mais les valeurs alimentaires seront en conséquence moins intéressantes (Lemaire, 2008 ; Novak, 2014).

Témoignage d'éleveurs

Chez un éleveur dans la Manche, des échanges de parcelles ont été réalisés pour permettre de faciliter l'accès au pâturage. Ensuite, le pâturage tournant dynamique a été mis en place sur l'exploitation en 2012. Cette pratique du « 1 jour = 1 paddock pâturé » permet à l'herbe de pousser plus longtemps entre deux périodes de pâturage et pour l'éleveur, de gagner en souplesse de travail. Un autre éleveur en Bretagne a investi dans un Boviduc pour permettre aux animaux de traverser la route ; cet investissement a lui aussi permis d'augmenter les surfaces pâturables sur l'exploitation.

5.2. Echelle de la parcelle

5.2.1. La réduction du travail du sol

Le dispositif expérimental « Oberacker » en Suisse étudie depuis plusieurs années le semis direct. Comparativement au labour, les résultats de leurs travaux montrent : une meilleure protection des sols vis-à-vis de la battance, une réduction de l'évaporation du sol, une meilleure infiltration grâce à la porosité, un potentiel de remontée capillaire plus élevé en situation de sécheresse et des sols généralement plus humides, favorisant ainsi l'activité biologique et l'absorption des nutriments par les plantes (Chevret, 2007).

Une autre étude en Roumanie sur 4 types de sol différents conclut à un effet positif des techniques culturales simplifiées (TCS) sur la rétention en eau des sols comparativement au labour (Moraru et Rusu, 2010).

Enfin, Struddley met en évidence une plus grande connectivité des macropores en non labour. Cependant les résultats peuvent s'avérer incohérents d'une étude à l'autre, notamment sur les questions de porosité totale et de densité. L'auteur incite également sur l'importance de prendre en compte les échelles spatio-temporelles quand on cherche à étudier les relations entre le travail du sol et les flux d'eau (Struddley, 2008).

En France, le projet SD-EAU 2012-2014 de la structure AGRO'DOC avait pour objectif la maîtrise du semis direct sur maïs dans le Sud-Ouest de la France. Un volet sur les comportements hydriques des sols en semis direct comparé au labour était inclus au projet. En moyenne sur l'année, le semis direct permet une cinétique de l'eau plus douce que le labour et une meilleure réaction du sol vis-à-vis des fortes variations de températures. Cependant, le semis direct ne permet pas de réduire les consommations en eau d'irrigation dans ces systèmes mais plutôt de décaler les besoins dans le temps (communication personnelle). Enfin, les performances économiques du semis direct ne peuvent être atteintes que si les excès d'eau et la pression des adventices maitrisé.

Témoignages d'acteurs

En ex-région Picardie, les sécheresses successives de ces trois derniers étés incitent au changement de pratiques. Ainsi, le colza est de plus en plus implanté en semis direct. Durant cette année 2020, les implantations ont été très délicates pour tous mais les levées plus homogènes pour les parcelles en semis direct.

A l'inverse et dans le but de limiter l'assèchement du sol après fauche, des essais de passage de herse sur prairies ont été réalisés dans le cadre du GIEE Eau'optimiser. Les résultats ont été concluants d'un point de vue agronomique mais la mise en œuvre à plus grande échelle reste difficile (main d'œuvre nécessaire pour gérer simultanément l'irrigation, la fauche et le passage de herse).

5.2.2. La couverture des sols

La couverture des sols est un levier mobilisé par beaucoup d'agriculteurs sous des formes différentes selon les filières de production (couverts végétaux en périodes d'interculture, paillage massif en maraichage, enherbement des inter-rangs en viticulture et arboriculture, pratiques de sous semis en polyculture élevage...).

La pratique du mulch ou du paillage permet de maintenir une certaine humidité du sol en surface et de limiter les pertes d'eau par ruissellement selon la revue bibliographique de Prosdomi et al. (2016). Selon les travaux d'Altieri et al. (2015), le mulch permet de réduire de manière très significative l'effet asséchant du vent et de réduire les pertes par ruissellement (2 à 6 fois moins de perte en volume). L'implantation des cultures suivantes peut s'avérer difficile si le mulch se décompose mal (Ecophytopic, communication internet).



Agriculture de conservation.com

Concernant les couverts végétaux, les services rendus sont multiples et pas forcément en premier lieu celui de la quantité d'eau, d'où l'adoption récente du terme CIMS (couverts intermédiaires multi-services). En effet, le couvert va avoir des intérêts en matière de réduction des risques de lessivage (CIPAN), de maintien de la biodiversité et d'enrichissement du sol en matière organique. Il peut être aussi source de valorisation économique (dérobées en élevage, CIVE en méthanisation).

Les couverts permettent de limiter l'évaporation du sol et de favoriser l'infiltration de l'eau. Cependant, la question de la concurrence pour l'eau et l'azote se pose lorsque les ressources sont limitées. Les travaux récents de Nicolas Meyer sur le Bassin Adour Garonne ont permis d'acquérir des connaissances sur ce sujet (Meyer et al., 2019 ; Meyer, 2020) : les résultats montrent une réduction du drainage de 30 mm en moyenne du fait de l'augmentation de l'évapotranspiration. Il existe donc un jeu d'équilibre entre réduction de l'évaporation du sol et augmentation de l'évapotranspiration du couvert. Si les couverts sont gérés correctement (choix des espèces, dates et modes d'implantation et de destruction...), les rendements et la qualité des cultures principales peuvent être maintenus.

Témoignage d'acteurs

Paradoxalement, le manque d'eau au moment de l'implantation compromet la levée et le bon développement des couverts. Pour pallier ce problème, des agriculteurs testent des alternatives d'implantation comme le sous-semis (semis des couverts dans une culture principale déjà en place). Ces techniques restent cependant difficiles à maîtriser et à reproduire d'une année sur l'autre.

L'enherbement des inter-rangs en vigne présente également de nombreux avantages : apports de matières organiques, réduction de l'évaporation du sol, meilleure capacité de rétention en eau, stabilité structurale, gestion des adventices... (Solagro, fiche OSAE).



Mon viti.com

Cependant, la concurrence pour l'eau induit des contraintes hydriques plus importantes et plus précoces notamment à partir du stade floraison et jusqu'à véraison. La disponibilité en azote est également à prendre en compte en système enherbé, avec des effets de concurrence encore plus marqués en période de sécheresse (Gary et al., 2014).

L'enherbement temporaire, qui consiste à détruire le couvert au printemps, serait un bon compromis. Un point d'attention est à apporter concernant la destruction du couvert, le mode mécanique ou physique étant à privilégier pour la préservation de la biodiversité et de la qualité de l'eau (gel, roulage, broyage, labour...). Enfin, l'association enherbement-irrigation pourrait permettre une meilleure efficacité du système en forçant le développement racinaire de la vigne sous le rang (Gary et al., 2018).

Témoignage d'un viticulteur dans les Pyrénées Orientales

La démarche a été initiée en 2010. L'objectif principal était d'augmenter le taux de matière organique des sols. Les couverts sont semés en direct en fin d'été et détruits au début du printemps suivant au broyeur. Un binage est ensuite réalisé pour éviter les repousses.

Le bilan après 10 ans est positif puisque le taux de matière organique a augmenté. Les rendements sont maintenus ou augmentés selon les parcelles. La concurrence pour l'eau est un point d'attention important à prendre en compte dans son contexte. L'amélioration de l'infiltration et de la rétention ne compensent pas suffisamment l'évapotranspiration : par conséquent, les couverts sont détruits très tôt dans la saison. Des amendements sont également nécessaires pour assurer leur bon développement. L'expérimentation a aussi permis de construire un itinéraire technique adapté au contexte pédoclimatique du domaine (choix des espèces et du matériel de semis et de destruction). La pratique a été expérimentée par d'autres viticulteurs dans le cadre du GIEE Couvreur de Vigne dans les Pyrénées Orientales. Les enseignements sont similaires à l'échelle du groupe mais les pratiques mises en œuvre vont être spécifiques à chacun en raison de la diversité des types de sols et des différentes stratégies de production.

En arboriculture fruitière, une thèse sur l'adaptation des pratiques agricoles face à la sécheresse sur un bassin versant du Sud-Ouest de la France (Veyrac-Ben Ahmed, 2012) fait un état des lieux historique : dans les années 80, l'enherbement des inter-rangs s'est fortement développé pour résoudre des problèmes d'érosion. Dès les premières années, les agriculteurs ont également constaté d'autres intérêts comme la réduction de la charge de travail, un enrichissement en biodiversité et des réductions possibles en protection phytosanitaire. Cependant, ces pratiques ont favorisé un enracinement plus superficiel des vergers, qui couplé à des modes de plantation en axe très denses, ont enclenché l'irrigation à l'échelle du territoire.

Témoignage d'agriculteurs

En petits fruits et sur de petites surfaces d'exploitation, des systèmes de plantation sur toile tissée sont mis en place. L'objectif premier est de réduire la pression des adventices au niveau du rang mais les agriculteurs constatent également que la toile permet de conserver la fraîcheur et l'humidité du sol. La toile tissée est expérimentée sur les vergers d'une agricultrice dans l'hypothèse où cela permettrait de réduire les besoins en eau d'irrigation à moyen terme.

Dans les systèmes en maraîchage diversifié du GIEE SAEL, la couverture des sols par le paillage et/ou les couverts est un levier prioritaire pour conserver l'humidité du sol et lui apporter de la matière organique. La pratique des couverts végétaux n'est cependant pas facile à réaliser puisque qu'il faut faire un compromis entre les objectifs de production et le temps nécessaire au développement du couvert.

Enfin, **les pratiques de sous-semis** sont des leviers mobilisables pour sécuriser les implantations en situation de sécheresse. Citons par exemple les systèmes de maïs sous couvert de légumineuses avec des économies d'eau d'irrigation potentielles de 30% (étude de cas Midour, CGAAER, 2019). Ces pratiques sont également testées pour sécuriser l'implantation des prairies (essais dans l'Aveyron dans le cadre du projet AP3C). La réussite de cette pratique, qu'elle soit en élevage ou en grande culture, dépend fortement des conditions climatiques de l'année et des types de sol.

5.2.3. Les apports de matières organiques

Les apports de matières organiques sous forme d'amendement ou d'engrais auront *a priori* un effet sur le taux de matière organique des sols et donc sur les capacités de rétention en eau. Les effets vont être variables selon le type de sol et la nature de l'apport (Demir et al, 2019 ; Mudjdec et al, 2017).

Par ailleurs, dans leur revue bibliographique, Eden et al (2017) ont étudié l'effet des apports organiques issus de déchets de diverse nature (boues de STEP, déchets verts, effluents d'élevage, déchets issus de la filière arboriculture... complétés ou non par des apports d'engrais minéral) : la capacité de rétention en eau est en général améliorée pour tous les types de sols et régions étudiés. La nature de l'apport a un effet important de même que la teneur en carbone organique initiale du sol puisque pour un même type de sol sur le même site d'expérimentation, les résultats varient. Par manque de données, l'étude n'a pas approfondi cet aspect et fait également état d'un manque de connaissances de l'effet des apports organiques sur la capacité de rétention sur la totalité du profil de sol.

La valorisation des Produits Résiduels Organiques (PRO) en agriculture fait l'objet d'un intérêt croissant et se retrouve dans les stratégies d'économie circulaire à l'échelle des territoires (Ministère de l'Agriculture, 2019).

Témoignages d'agriculteurs et d'acteurs

Au sein du GIEE Argena dans les Bouches du Rhône, les viticulteurs travaillent sur les apports de matières organiques. Des itinéraires techniques sont construits en prenant en compte les contraintes de cette culture pérenne, les coûts d'investissement et l'organisation logistique (épandage régulier un rang sur deux ou épandage massif en plein entre deux plantations). La principale problématique pour le groupe est la qualité des matières organiques épandues, s'agissant d'un mélange composé de composts de déchets verts (traces de plastiques et de métaux).

Pour un agriculteur dans le Gers, la stratégie va encore plus loin par la réintroduction de l'élevage sur l'exploitation et en complément d'autres leviers agro-écologiques comme la couverture des sols et la réduction du travail du sol. Les restitutions au pâturage devraient permettre d'augmenter le taux de matière organique des sols à terme. Le choix s'est fait sur un système 100% herbager pour limiter la production de cultures fourragères plus gourmandes en eau et en énergie ainsi que pour éviter d'investir dans un bâtiment.

Par manque de recul ou de capacités financières, les agriculteurs enquêtés n'ont pas vérifié par des mesures au champ l'effet des apports de matières organiques sur la rétention en eau des sols.

5.3. Echelle du système de culture

5.3.1. Modification de l'assolement

Une stratégie possible serait de faire plus de cultures d'hiver et moins de cultures de printemps. Cependant, les rotations courtes de type colza-blé-orge sont connues pour présenter plus de problèmes liés à la gestion des adventices avec des usages herbicides potentiellement plus importants. A l'inverse, les rotations diversifiées alternant cultures d'hiver et de printemps permettent de casser les cycles de développement des adventices. Certaines régions font également face à des problèmes de prolifération d'adventices et d'impasse technique car les produits sont moins efficaces et nombreux (communication personnelle). Les risques d'augmentation des usages herbicides sont également mis en évidence dans l'étude Solagro de 2017.

L'outil **ASALEE** développé par Arvalis, en partenariat avec d'autres organismes, est une application en ligne permettant d'aider les agriculteurs et les gestionnaires de territoires sur les stratégies d'assolement. Il permet d'établir des scénarios en fonction de la variabilité climatique et économique et des volumes d'eau d'irrigation disponible. Les scénarios proposent des indicateurs de performance tels que la consommation en eau d'irrigation, la marge brute et le temps de travail, à l'échelle de l'exploitation ou de l'ilot cultural. Cet outil a été testé sur le territoire de la Boutonne en Charente à titre expérimental.

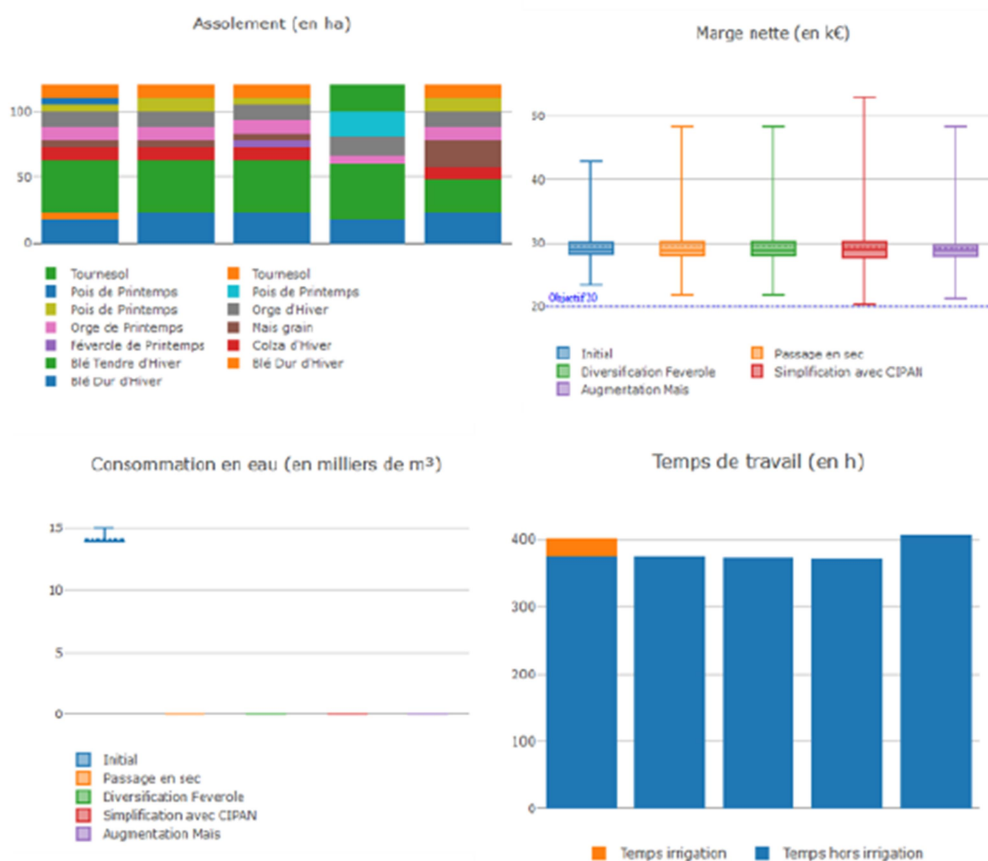


Figure 7 : exemple de sortie graphique (Arvalis : communication internet)

En élevage, l'assolement peut être revu de manière à offrir de nouvelles ressources alimentaires pour les animaux. Dans le cadre des programmes OASYS et FEE du site expérimental INRAE de Lusignan, **le pâturage d'automne sur cultures d'hiver au stade jeune est testé**. Comparé au maïs ou au sorgho, la valeur alimentaire de cet apport est moins intéressante mais les besoins en eau sont diminués de même que les usages en fertilisation et traitements phytosanitaires (Novak et al., 2018).

Les cultures dérobées estivales sont également une piste intéressante pour sécuriser les stocks, couvrir les sols ou faciliter l'implantation des prairies. Les espèces tropicales ont des potentiels de croissance rapide et de faibles besoins en eau hormis à la levée. Ces espèces n'ayant pas toutes la même aptitude au pâturage, il convient de prendre en compte leurs caractéristiques en amont (Novak et al., 2018).

Témoignage d'agriculteurs et d'acteurs

Dans le cadre du projet AP3C dans le Massif Central, des essais sont menés sur le Teffgrass. Cette graminée d'origine d'Ethiopie est similaire au Moha (autre graminée fourragère) mais présente une valeur alimentaire plus intéressante et une plus forte résistance au stress hydrique et thermique (jusqu'à 38°C). La principale difficulté technique est l'implantation car les semences sont petites.

En Bretagne, les éleveurs utilisent le colza en dérobée qui permet d'apporter de la protéine à la ration. Le point d'attention est également l'implantation qui doit se faire dans de bonnes conditions (besoin d'eau pour la levée, outils et travail du sol adaptés).

Enfin, d'autres agriculteurs expérimentent le pâturage des couverts d'interculture en mobilisant leur propre troupeau ou en faisant appel à des éleveurs voisins. La pratique est principalement développée avec des ovins.

5.3.2. S'orienter vers des cultures économes en eau...

Nous citerons ici quelques cultures mentionnées lors des entretiens ou considérées dans des articles techniques/scientifiques. Leur introduction sur une exploitation agricole et leur déploiement à l'échelle du territoire dépendront du contexte pédoclimatique, des stratégies de production et de la présence d'un débouché pérenne suffisamment rémunérateur.



Le sorgho est cité comme une alternative intéressante au maïs en situation de restrictions d'eau, notamment dans le Sud-Ouest de la France (Agrosites Maisadour ; rapport CGAAER, 2019).

La rentabilité économique de la culture va dépendre des possibilités d'irrigation et du potentiel de rendement du maïs : si l'eau est disponible et/ou si la culture de maïs donne de bon rendement, le sorgho est moins intéressant économiquement que le maïs et ne sera donc pas, d'une manière générale, privilégié (Debaeken et al., 2008).

Selon l'étude Solagro sur les économies d'eau en Adour-Garonne, le choix d'irriguer ou non la culture du Sorgho va dépendre de la stratégie de l'agriculteur (culture prioritaire ou non) : en cas d'irrigation, les apports d'eau vont varier de 70 à 150 mm par an, sachant que les apports moyens sur maïs grain en conduite non restrictive sont de 240 mm selon cette même étude.

Les débouchés actuels du Sorgho en Europe sont principalement l'alimentation animale mais de nombreuses pistes de développement sont envisagées grâce à la diversité génétique offerte par cette plante (sorgho grain, sorgho fourrager, sorgho sucrier, sorgho fibre, sorgho teinturier). Une filière pour l'alimentation humaine pourrait se développer en Europe avec les régimes sans gluten, de même pour la filière énergie. La recherche doit travailler sur la sélection variétale, la définition d'itinéraires techniques adaptés aux climats tempérés, la structuration de la filière amont-aval et sur une meilleure valorisation des services écosystémiques rendus (Alami, 2018 ; CIRAD, 2020, communication internet).



Source : terre inovia

Le tournesol pourrait être intéressant sur certains territoires non irrigués (un conseiller d'une coopérative de l'Oise constate une augmentation de la surface en tournesol depuis quelques années en raison de la sécheresse mais aussi pour lutter contre le Ray-Grass, une graminée annuelle).

Cependant, les agriculteurs déplorent souvent des problèmes liés aux fortes attaques de ravageurs et au manque de rentabilité économique. Les besoins en eau du tournesol sont d'environ

230mm avec des stades plus sensibles : une irrigation d'appoint est donc réalisée dans certaines régions (Solagro, 2017). Les débouchés du tournesol sont l'alimentation animale (tourteaux) et humaine (huile classique et oléique). Les usages non alimentaires sont minoritaires mais en développement : biocarburants, fabrication de peintures, encres, biolubrifiants, valorisation des coques... (Borredon et al., 2011).

Les besoins en eau du **soja** sont en moyenne plus faibles comparativement au maïs sur l'ensemble du cycle cultural (estimation de -17% ; CGAAER, 2019). Cependant, les besoins sont importants au stade floraison au mois d'août, raison pour laquelle la culture est irriguée dans les régions du Sud de la France ou sur des sols superficiels. A cette période, ses besoins en eau peuvent même dépasser ceux du maïs (Solagro, 2017).



Source : terres et territoires

Le projet SOJAMIP conduit entre 2012 et 2015 avait pour objectif la conception d'itinéraires techniques et de variétés économes en eau en région Midi-Pyrénées. Des travaux de modélisation ont par la suite été entrepris afin de prédire la phénologie du soja selon les conditions climatiques (Schoving et al., 2019 ; Maury et al., 2015). Si les économies d'eau ne sont pas toujours vérifiées, la culture reste intéressante pour diversifier les assolements et apporter de l'azote au système.

Les débouchés sont inversés selon le mode de production : en conventionnel, le soja est principalement destiné à l'alimentation animale alors qu'en Bio, l'alimentation humaine est majoritaire. Enfin, il est à noter une incitation des politiques publiques au développement de cette culture (Plan protéines, Verdissement de la PAC...), et plus généralement pour l'ensemble des cultures protéagineuses. Par exemple, les besoins en eau du **pois d'hiver ou de printemps** sont assez faibles sur l'ensemble du cycle cultural. Cependant, cette culture est très sensible aux maladies et n'est pas adaptée à tous les types de sol (Solagro, 2017).



Source : terre-net

La luzerne tolère des déficits hydriques importants grâce à un système racinaire profond. Elle présente également l'avantage d'être autonome en azote et économe en produits phytosanitaires. Elle préfère des sols profonds et bien drainés et ne tolère pas les sols acides et hydromorphes (Lemaire, 2008 ; Melis et al., 2017).

Elle est valorisée en fourrages, sous forme de bouchons ou pellets déshydratés ou en porte-graines. La principale difficulté pour l'introduction de la luzerne sur les exploitations est l'absence de filières locales ou le manque de rentabilité (frais de transport et de séchage). Certains font le choix unique d'une valorisation agronomique, notamment en grandes cultures biologiques. Des valorisations en engrais vert ont été testées à l'INRA de Clermont pour pallier ce défaut de valorisation économique (Arvalis et ITAB, 2012 ; Fourné et al., 2012).

La silphie est une plante pérenne des régions continentales exploitable sur un cycle de 10 à 15 ans. Elle tolère la sécheresse mais aussi les excès d'eau et les gelées. Elle présente de nombreux autres avantages agronomiques (effet structurant pour le sol, plante mellifère...). L'implantation peut s'avérer coûteuse et délicate en désherbage. La première année n'est pas valorisable mais une solution alternative pourrait être le sous semis de la culture dans un maïs (Chambre d'Agriculture d'Alsace, 2019).



Source : entraid.com

Les débouchés possibles sont l'alimentation animale et la méthanisation bien que son pouvoir méthanogène soit moins intéressant que le maïs. Des expérimentations ont également été réalisées les Zones de Non traitement riverains (ZNT) dans l'Est de la France (communication personnelle).

Témoignage d'acteurs

Le GIEE SYSTEM'EAU dans le Cher porte un projet de diversification sur la Lavande, permettant aux exploitations d'introduire une culture à forte valeur ajoutée et économe en eau. Le groupe doit encore étudier la faisabilité technique et la viabilité économique de ce projet. Le débouché envisagé est un pôle cosmétique près d'Orléans.

Dans les régions de production historique, la lavande est conduite sur un cycle de 8 ans environ. Elle nécessite des sols bien drainés et non acides et n'a pas de besoin d'irrigation excepté et si nécessaire au moment des plantations. Les charges de main d'œuvre sont importantes, notamment pour le désherbage et la récolte. La rentabilité économique est fonction du mode de production, du produit final (huile essentiel ou plante séchée) et des filières de commercialisation (Chambre d'Agriculture de l'Aude, 2014).

5.3.3. ... Ou vers des associations de cultures et d'espèces

Le choix d'espèces prairiales plus adaptées à la sécheresse est exploré par la recherche et un certain nombre d'éleveurs enquêtés. Par exemple, sur le site expérimental INRAE de Lusignan, l'introduction de la fétuque élevée dans les mélanges donne des résultats intéressants en rendement et valeurs alimentaires (Novak et al., 2018). Cette graminée a également été citée à plusieurs reprises lors des entretiens, ainsi que d'autres espèces comme le dactyle ou la luzerne. Il est cependant difficile de faire des généralités puisque les contextes pédoclimatiques et les formes de valorisation (pâturage, ensilage, foin...) vont

déterminer les choix d'espèces et leur proportion dans les mélanges. Certains groupes utilisent l'outil CAPFLORE, développé par l'INRAE de Toulouse. L'application permet de sélectionner des espèces adaptées au contexte pédoclimatique et aux usages souhaités. S'agissant d'un outil collaboratif, les références peuvent encore manquer sur certains territoires mais les adhésions à venir permettront de l'enrichir au fur et à mesure (communications internet et personnelle).

Les associations céréales-protéagineux ont pour objectif principal d'augmenter les taux de protéines des blés meuniers ou des rations alimentaires (Solagro, fiche OSAE). Ces associations peuvent s'avérer plus résistantes à la sécheresse et offrir une stabilité des rendements. Les surfaces en association sont aujourd'hui peu développées en France par manque de références techniques et de valorisation économique auquel s'ajoutent des problèmes de qualité et d'accès à /investissement sur une plateforme de tri (Pelzer et al., 2014).

Témoignage d'éleveurs

Les associations céréales-protéagineux (méteil) sont plus résistantes aux aléas climatiques et permettent aussi d'assurer l'autonomie alimentaire du troupeau. Certains éleveurs ne réalisent aucune intervention du semis à la récolte ce qui rend l'association économe en intrants. L'implantation est la partie la plus délicate de l'itinéraire technique, d'où la nécessité d'utiliser des semoirs performants.

5.4. Echelle du paysage

5.4.1. Haies et bocages

Peu de publications scientifiques ont été trouvées sur les interactions haies-cultures en situation de sécheresse. Les entretiens ont permis d'identifier quelques raisons à cela : historiquement, la recherche s'est plutôt orientée sur d'autres services rendus par les haies, notamment la lutte contre l'érosion et la qualité de l'eau. Plus récemment, les enjeux de biodiversité et de stockage du carbone dans les sols ont été mis en avant ce qui a orienté la recherche sur ces thématiques.

Cela étant dit, une thèse sur la modélisation des interactions haies-cultures vis-à-vis des flux d'eau et d'azote à l'échelle d'un bassin versant (Nord Ile et Bretagne) apporte quelques éléments (Benhamou, 2012) :

- Selon l'état de l'art, on constate un assèchement du sol plus lent mais plus prononcé aux abords de la haie ce qui entraîne un retard dans la saturation du sol à l'automne. Les haies installent un microclimat bénéfique aux cultures avoisinantes notamment sous climats secs et chauds. Enfin, les études montrent des consommations en eau et en nutriments plus importantes mais la compétition est maîtrisable si les systèmes racinaires sont complémentaires.
- Selon les mesures au champ et les simulations, les rendements diminuent aux abords de la haie mais augmentent sur le reste de la parcelle, le bilan étant une diminution. Les pratiques de taille des haies permettraient de limiter les effets de compétition mais cela ne s'observe pas à l'échelle du bassin versant. Sur les risques de pollutions azotées, les effets seraient positifs à l'échelle de la parcelle mais insuffisants sur des bassins versants aux flux importants. Les relations haies-cultures à l'échelle du bassin versant sont complexes car fonction des différentes profondeurs de sols et de nappes.

Cette même étude conclut que les résultats sur le bilan de l'eau à l'échelle du bassin versant, en particulier sur le terme d'évapotranspiration, sont incertains et nécessiteraient des études approfondies.

Enfin, un état des lieux des connaissances sur le bocage est proposé dans la revue Sciences, Eau et Territoires (Viaud et al., 2019) :

- Les arbres ont un système racinaire plus profond que les cultures, ce qui limite les effets de compétition pour l'eau ;
- Les systèmes racinaires sont plus denses et profonds que ceux des arbres forestiers ;
- Aux abords des haies, on constate des taux de matière organique plus élevés, des niveaux d'infiltration plus importants et plus d'évapotranspiration ;
- Cette augmentation de l'évapotranspiration est également observée à l'échelle du bassin versant mais on n'observe pas d'effets sur la réduction des pollutions azotées ;

5.4.2. Agroforesterie

A l'international comme en France, des études montrent le potentiel de l'agroforesterie dans un contexte de changement climatique. Ces études mettent généralement en avant un effet microclimat qui favorise l'infiltration, réduit l'évaporation du sol et les risques d'échaudage (Uthappa et al., 2017 ; Liagre et al., 2012 ; Dupraz et Liagre, 2011 ; Lin et al., 2008 ; Thevathasan et al., 2004).

En grande culture, les travaux de l'INRAE dans le Sud-Est de la France (Dupraz et Liagre, 2011) montrent que les associations arbres et cultures d'hiver sont bien adaptées grâce à un développement décalé dans le temps et dans l'espace des systèmes racinaires. Pour les cultures de printemps et d'été, les cycles de croissance ne sont pas décalés ce qui peut poser des soucis de compétition. De plus et en situation irriguée, les arbres vont profiter de cette ressource en eau disponible et les racines ne descendront pas en profondeur : cela peut donc également affecter l'alimentation en eau des cultures.



Source : Restinclières.herault.fr

Les performances environnementales des systèmes agroforestiers ont également été étudiées sur d'autres indicateurs. Les effets sur la biodiversité auxiliaire se révèlent positifs. Les risques de développement de maladies peuvent être plus importants mais sont maîtrisables si les arbres sont plantés à des densités modérées. Concernant l'azote et toujours dans le contexte agroforestier du Sud-Est de la France, on observe une réduction des apports de fertilisation azotée de l'ordre de 7 kgN/ha/an. Les risques de lessivage seraient plus faibles grâce à une minéralisation plus lente et une plus grande capacité de stockage de fin d'été. Les potentiels de captation des nitrates par les arbres restent difficiles à chiffrer (Dupraz et al, 2011).

Dans la continuité de ces travaux, nous pouvons citer la thèse sur la réduction des stress hydriques et thermiques des céréales d'hiver en agroforesterie sous climat méditerranéen, d'Aguirre (2018). Les résultats montrent un impact négatif sur le rendement qui s'expliquerait par des effets de concurrence pour la lumière et des conditions climatiques

particulières sur les trois années d'expérimentation. L'intérêt des conduites d'entretien n'a pas pu être clairement démontré.

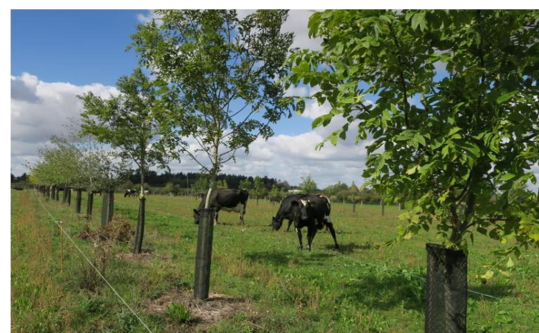
La thèse en cours de Guillaume Blanchet étudie l'adaptation des systèmes agroforestiers au changement climatique au travers d'un dispositif expérimental d'exclusion des pluies dans le Sud-Est de la France. Les premiers essais montrent des résultats intéressants de la réponse du pois à la sécheresse (publication en cours : communication personnelle).

Enfin, une synthèse des connaissances et perspectives sur la compréhension du fonctionnement souterrain des systèmes agroforestiers sur le cycle de l'eau, des nutriments et du carbone a été rédigée récemment (Cardinael et al., 2020). Sur le cycle de l'eau, on observe un jeu d'équilibre entre la concurrence (que l'on peut atténuer par des choix d'espèces et l'entretien des arbres) et la meilleure disponibilité (permise par des enracinements plus profonds, des effets d'ascenseurs hydrauliques, des réseaux de mycorhizes...). Ces effets sont reconnus mais l'enjeu reste aujourd'hui de les quantifier et de savoir s'ils peuvent être généralisés à tous les systèmes agroforestiers dans le monde. En perspective, la synthèse recommande une prise en compte de l'ensemble des cycles eau, nutriments et carbone. Dans l'hypothèse où un compromis de services sera finalement nécessaire, la multifonctionnalité de l'agroforesterie est à considérer (Cardinael et al., 2020).

En viticulture, nous pouvons citer le projet Vitiforest sur l'intérêt de l'agroforesterie pour réduire les stress thermiques. Des expérimentations ont été réalisées dans le cadre d'une thèse et montrent des réductions de 1 à 1.5°C sur de jeunes plants et de 2.5 à 4°C sur des sites plus matures (Grimaldi, 2016).

En élevage, l'agroforesterie peut être étudiée pour maximiser le temps au pâturage des animaux. L'étude PARASOL pilotée par l'ADEME (Béral et al., 2018) en systèmes ovins a permis de montrer des variations de production fourragère selon les densités de plantation. A moyenne densité, la production est plus faible comparativement à la modalité sans arbre mais les valeurs alimentaires sont plus intéressantes. Afin d'améliorer la production, il est nécessaire de concentrer les recherches sur des espèces et variétés fourragères adaptées à l'ombrage. L'agroforesterie peut également permettre de réduire le stress thermique des animaux avec des effets positifs sur la production laitière. Des études récentes chiffrent les gains économiques à 400€/an (Fabien Liagre, pour IDELE et CRA Occitanie).

Enfin, l'agroforesterie en tant que ressource alimentaire complémentaire est étudiée dans le cadre du programme OASYS de l'INRAE de Lusignan. L'expérimentation vise à un apport alimentaire par prélèvement direct des feuilles sur les arbres. Les premières analyses ont permis d'identifier des espèces intéressantes en valeurs alimentaires (Novak et al., 2020).



Source : reussir.fr

Tableau 4: récapitulatif des services écosystémiques rendus par l'agroforesterie (d'après Christian Dupraz, pour la chaire AgroSYS et le RMT agroforesteries)

Les certitudes	Les incertitudes (services validés par l'expérimentation)	Les controverses
<p>Stockage du carbone (dans l'arbre)</p> <p>Lutte contre les incendies</p> <p>Biodiversité</p> <p>Valeur paysagère</p>	<p>Production (si sols assez profonds et ressource en eau non limitante)</p> <p>Protection climatique pour les animaux</p>	<p>Lessivage des nitrates</p> <p>Réduction du stress thermique pour les cultures</p> <p>Résistance aux tempêtes</p> <p>Usages d'intrants</p> <p>Stockage du carbone (depuis l'arbre vers le sol)</p> <p>Ascenseur hydraulique</p>

Témoignages d'agriculteurs sur les haies et l'agroforesterie

Pour la majorité des agriculteurs enquêtés, le ressenti est positif malgré le manque de recul.

Chez certains maraîchers et arboriculteurs, il est observé une meilleure production aux abords des haies. Chez les éleveurs, l'arbre permet d'apporter un microclimat pour les animaux et de protéger les cultures des coups de chaud. Au sein du GIEE SAEL, l'arbre et la haie sont totalement intégrés dans le design : l'objectif est que l'eau puisse circuler sur l'ensemble de la surface de l'exploitation et soit valorisée au maximum avant qu'elle ne sorte du système. Ainsi, des interconnexions sont conçues entre les arbres et les sources d'eau à des endroits stratégiques (petites mares, noues d'infiltration...)

En grande culture, il peut y avoir un peu plus d'appréhension vis-à-vis des effets de concurrence. Certains éleveurs mettent également un point d'attention sur les risques de tassement des sols et de transmission des maladies à cause du regroupement des animaux.

5.5. Echelle du bassin versant et du territoire

Nous avons vu précédemment que l'agriculteur pouvait mobiliser un certain nombre de leviers techniques et agro-écologiques pour économiser l'eau d'irrigation ou avoir un système plus résilient vis-à-vis de la sécheresse. Cependant pour pouvoir observer des effets à plus grande échelle et pour éviter d'éventuels conflits d'usage amont-aval entre exploitations, il est nécessaire de considérer la gestion quantitative de l'eau comme un enjeu collectif. De plus, certains leviers ne peuvent être mobilisés efficacement que si les filières sont présentes pour leur valorisation économique. Enfin, le changement de pratiques et de système peut être facilité par des programmes de financement qui sont eux aussi mobilisés à des échelles différentes de l'exploitation agricole (régions pour les PCAE, grands bassins versants pour les programmes d'intervention des Agences de l'Eau...). Les trois témoignages suivants sont des exemples concrets de la gestion collective de la ressource en eau à l'échelle du territoire (communications personnelles).

5.5.1. Témoignage sur le bassin versant Aume-Couture

Le bassin de l'Aume-Couture s'étend sur environ 470 km² et se trouve à cheval entre trois départements : la Charente, les Deux-Sèvres et la Charente-Maritime (figure 8).

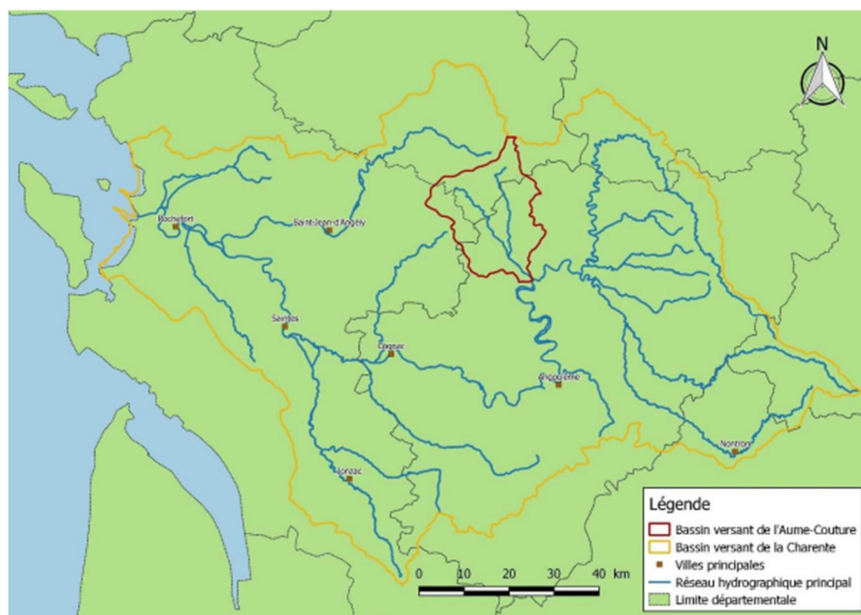


Figure 8 : localisation du bassin Aume-Couture (ETPB Charente, 2017)

Le territoire est placé en Zone de Répartition des Eaux (ZRE), tout comme l'ensemble du bassin Charente, en raison d'un déséquilibre entre la disponibilité et les besoins en eau. Pour résorber ce déficit hydrique à l'échelle du bassin versant, un PGE (Plan de Gestion des Etiages) a été approuvé en 2004 puis reconduit sous forme d'avenants. En 2011, un protocole d'accord a été établi pour la définition du volume prélevable et des actions à mettre en place pour atteindre cet objectif : il a été fixé à 2.57 milliards de m³ (figure 9).

Enfin en 2015, une instruction gouvernementale a permis de clarifier le contenu des projets de territoire et donc de finaliser la démarche pour le bassin Aume-Couture au travers d'un état des lieux-diagnostic puis d'un programme d'actions (ETPB Charente, 2017).

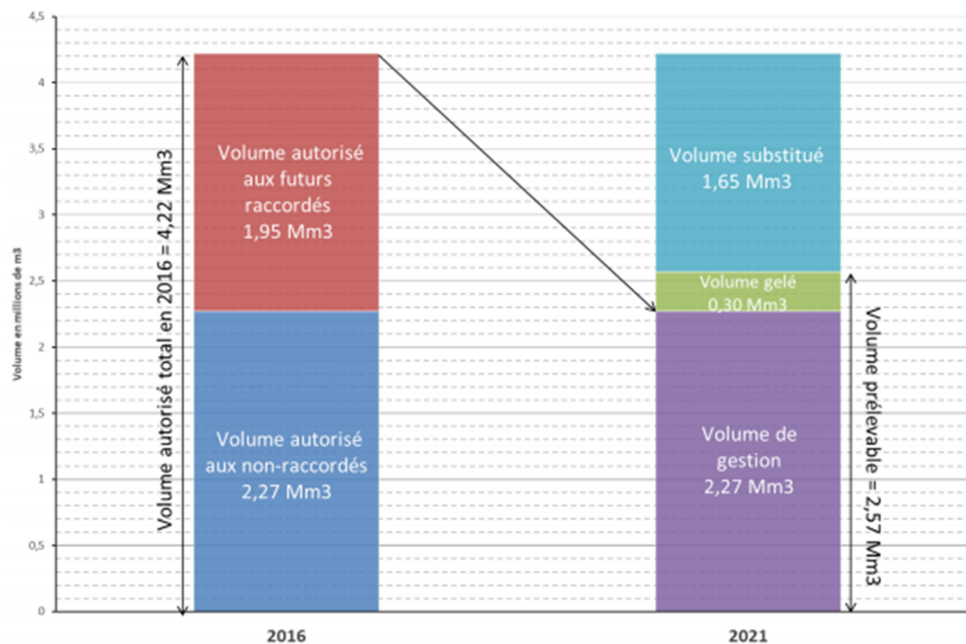


Figure 9 : détail des volumes relatifs au projet de substitution (ETPB Charente, 2017)

Ce programme d'actions territorial est en place depuis 2018 pour une durée de 6 ans. Les actions sont synthétisées dans la figure 10 : l'état d'avancement mentionné est issu des entretiens réalisés auprès de l'animatrice du programme et de la Chambre d'Agriculture de Charente.

Ce programme est propre au territoire mais la Chambre d'Agriculture accompagne les agriculteurs sur l'ensemble du département ; ainsi, les résultats obtenus sur d'autres secteurs pourront alimenter le programme d'actions. La démarche est volontaire et ciblée sur les irrigants mais un certain nombre d'actions fait déjà l'objet d'une diffusion auprès de l'ensemble des usagers de l'eau ou de l'ensemble des agriculteurs. Pour chaque action, des objectifs ont été fixés durant la phase de concertation. Si la participation reste volontaire, il y a tout de même un enjeu de réussite puisque l'Agence de l'Eau peut réduire son enveloppe financière si elle juge les résultats insuffisants.

Concernant la certification Haute Valeur Environnementale (HVE) mentionnée dans la figure 8, l'objectif est de pouvoir mobiliser plus d'agriculteurs dans la démarche. En effet et même s'il reste encore certains freins à lever (adaptation du cahier des charges pour la grande culture et structuration à plus grande échelle de la filière), la certification HVE permettrait une valorisation économique supplémentaire de la production. A ce jour, quelques coopératives prennent en compte cette certification dans leurs contrats (filiale CRC et label rouge en blé, filière Cognac...).

Enfin et selon les personnes interviewées, la quantification des économies d'eau à l'échelle du territoire est difficile à réaliser à cause de la variabilité des conditions climatiques observée d'une année sur l'autre : les volumes d'eau consommés pour l'irrigation vont donc varier en fonction de l'année.

LES GRANDS AXES	LES ACTIONS PREVUES	ETAT D'AVANCEMENT
Axe 1 : animation/communication	Coordination, communication, suivi, évaluation et animation	Un contexte politique difficile au démarrage et un contexte sanitaire 2020 qui perturbe l'avancement
Axe 2 : réduction de la pression des prélèvements sur les ressources superficielles en période estivale	Diagnostics d'exploitation et suivi individuel Volet irrigation (conseil, matériel, pilotage et télédétection) Volet retenues (règles de remplissage, études pour la création) Animation des MAEC Irrig	Volet irrigation = premier levier mobilisé au travers du conseil collectif (bulletin irrigation). MAEC Irrig non ouvertes sur le territoire. Quelques diagnostics réalisés mais auprès d'agriculteurs pionniers. Il est nécessaire de mobiliser les autres agriculteurs (réflexions sur HVE 3). Retard sur le volet retenues : décourage les agriculteurs
Axe 3 : animation et maîtrise foncière/d'usage	Cartographie et priorisation des parcelles, animation et veille foncière	
Axe 4 : restauration de la fonctionnalité des milieux	Préservation des zones humides, Restauration des cours d'eau, Aménagements d'hydraulique douce, Diagnostics d'aménagement parcellaire, Plantation de haies	
Axe 5 : amélioration de la qualité des eaux	Diagnostic d'exploitation et suivi individuel, Accompagnement collectif, Formation, Animation des MAEC Sol, Charte de bonnes pratiques	Cet axe est surtout porté par le GIEE de Brettes dont les résultats seront diffusés plus largement. MAEC Sol non ouverte sur le territoire. Charte d'engagement non rédigée à ce jour : à adapter vis-à-vis de la charte ZNT riverains

Figure 10: axes, actions et état d'avancement du programme d'actions territorial Aume-Couture (communication personnelle)

5.5.2. Témoignage sur les bassins versants du Cher

Le territoire s'étend sur 4750 km² environ et comprend deux SAGE : Yères-Auron et Cher-Arnon (Gest'eau, 2020). Tout comme Aume-Couture, le bassin est classé en ZRE.

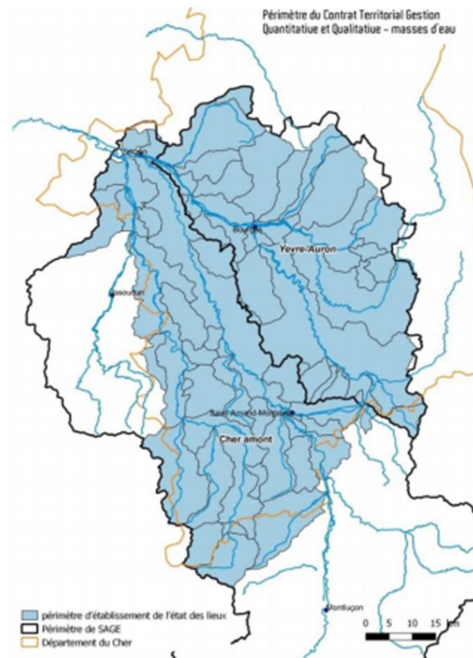


Figure 11 : territoire du bassin du Cher (CA du Cher et al., 2019)

Le contrat territorial de gestion quantitative et qualitative de l'eau du bassin du Cher (CTG2Q) est validé depuis cette année et fera l'objet d'une animation sur la période 2021-2026. Un bilan intermédiaire est prévu au bout de trois ans pour ajuster si besoin. Un état des lieux et un diagnostic ont été réalisés entre 2017 et 2020 en concertation avec l'ensemble des acteurs du territoire. Les actions porteront notamment sur les outils de pilotage de l'irrigation, la formation, l'expérimentation et sur la réduction des usages de produits phytosanitaires pour prendre en compte l'enjeu qualité de l'eau.

Le GIEE SYSTEM'EAU labélisé en 2020 est situé sur ce territoire et leurs actions seront également incluses dans le contrat :

- amélioration du pilotage de l'irrigation (installation de tensiomètres au champ et prise en compte de nouvelles cultures dans les logiciels de bilans hydriques) ;
- réflexions autour de la création de nouvelles filières (luzerne et lavande) ;
- participation au projet SR2I Climat (projections climatiques à intervalle 30 ans, conséquences sur la disponibilité en eau et solutions pour l'agriculture) ;

Les deux sous bassins versants de Yères-Auron et de Cher-Arnon sont à des niveaux d'avancement différents. Sur le premier, une gestion volumétrique annuelle est mise en place depuis 2007 selon le principe de la figure 12 ci-contre. Sur le deuxième, l'arrêté sécheresse est pour le moment appliqué en tant que mode de gestion. Les irrigants du Cher-Arnon reçoivent un conseil collectif en irrigation malgré l'absence pour le moment d'une gestion volumétrique (Chambre d'Agriculture du Cher, communication personnelle).

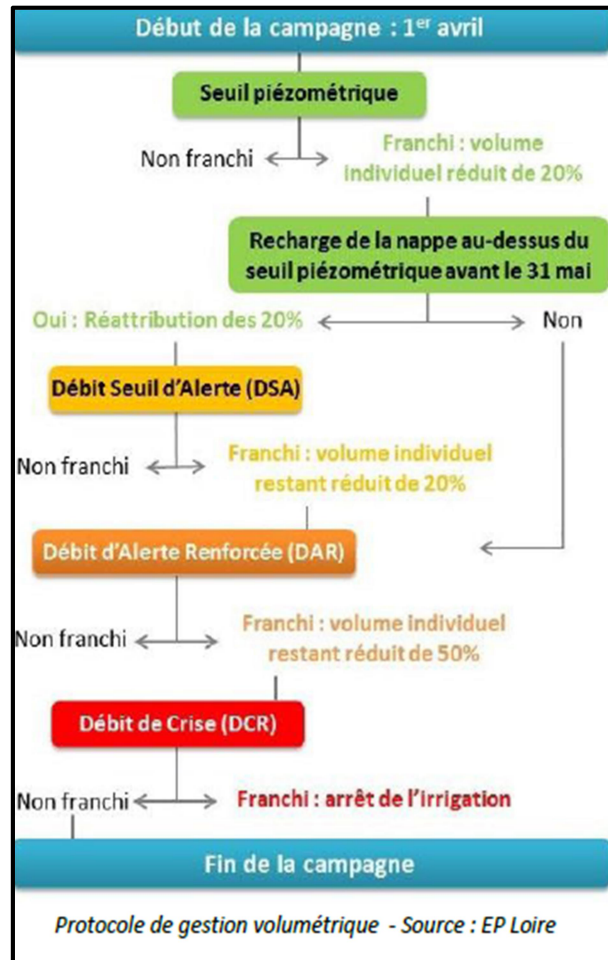


Figure 12 : protocole de gestion volumétrique (Gest'eau, 2020 : CTG2Q Cher)

5.5.3. Témoignage sur le bassin versant du Marais Poitevin

Le territoire du Marais Poitevin est sous pression quantitative depuis plusieurs années avec des conflits d'usage pour l'eau et des tensions entre acteurs. Un projet de retenues de substitution est en cours d'élaboration pour plus de 200 bénéficiaires. La création de cette nouvelle ressource sera conditionnée à une obligation de changement de pratiques agricoles, notamment pour la biodiversité et la préservation de la qualité de l'eau. L'engagement est important car les gestionnaires seront en droit d'interdire l'accès à l'eau.

ACTIONS	OBJECTIFS
Diagnostics d'exploitation puis suivis individuels	Pour pouvoir prendre en compte l'état initial de chaque exploitation et adapter les propositions d'actions
Formations	
Réduction des usages de produits phytosanitaires	Objectif : 20% d'exploitations en Agriculture Biologique et 20% d'exploitations certifiées HVE
Maintien/plantation de bandes enherbées et de haies Agroforesterie	
Volet irrigation	Pour améliorer l'efficacité de l'irrigation
Maintien des prairies, diversification des assolements, introduction de cultures à bas niveau d'intrants	Contrainte opérateurs pour les céréaliers : les coopératives et négoce sont donc intégrés au protocole

Figure 13 : actions et objectifs du protocole sur le territoire du Marais Poitevin (communication personnelle)

La perception des agriculteurs vis-à-vis de ce projet est variable mais un bon nombre considère cela comme un bon compromis et certains comme une opportunité pour développer de nouveaux projets.

6. Focus sur des questions spécifiques

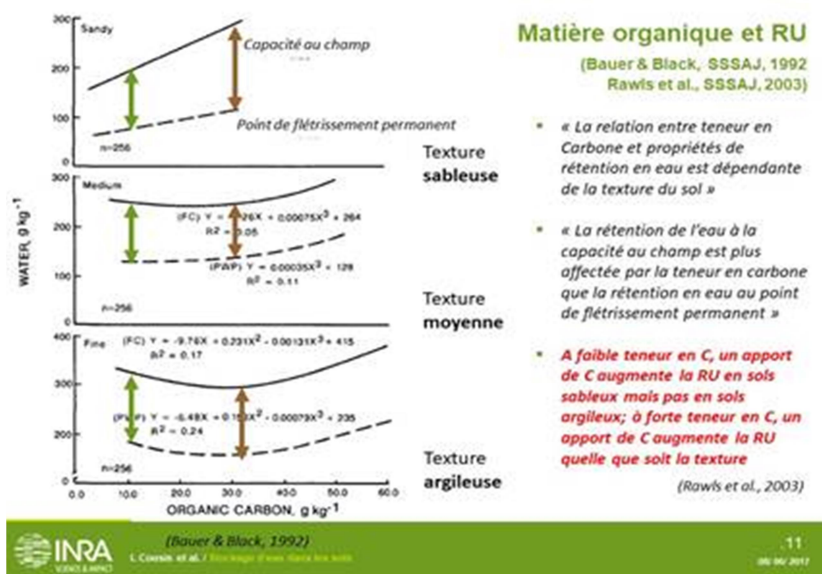
Au cours des entretiens avec les acteurs, des points/questions spécifiques ont été soulevées. Nous avons choisi de les aborder sous l'angle des points focaux spécifiques.

6.1. Focus sur le lien matière organique et réserve utile

La matière organique est souvent citée comme un moyen d'augmenter la réserve utile du sol. Il est cependant difficile pour les agriculteurs de chiffrer cette corrélation en réalisant des mesures au champ par manque de temps ou de capacités financières.

La réserve utile ou réservoir utilisable correspond à la capacité d'un sol à stocker de l'eau. Il s'agit d'un potentiel de stockage et de restitution aux plantes. Par ailleurs, on parle de Réservoir Utilisable Maximal (RUM) quand on s'intéresse au sol sur toute son épaisseur. Certains modèles expriment le RU selon les dynamiques d'enracinement des plantes : on parle alors de RU(t). Ainsi le RUM d'un sol est fixe mais la quantité d'eau qui le traverse durant le cycle cultural peut être équivalente ou supérieure (communication personnelle, Isabelle Cousin/INRAE).

Dans son rapport de 2019 sur le stockage du carbone dans les sols Français, l'INRAE apporte un avis relatif sur cette corrélation : « La matière organique du sol exerce généralement une influence positive sur la rétention en eau du sol, directement par son aptitude à retenir l'eau, et indirectement par son rôle dans l'agrégation des particules du sol. De façon générale, cet effet positif sur la réserve utile (RU) est faible (+1,16% de RU pour une augmentation de 10 mgC/g sol) ; il est plus important dans les sols à teneur élevée en sable, et négligeable dans les sols argileux. Une petite amélioration de la RU peut cependant permettre une meilleure résistance aux accidents climatiques. » (INRAE, 2019).



Des travaux plus anciens font état des mêmes conclusions (figure 14 ci-contre).

Figure 14 : matières organiques et RU (source : Isabelle Cousin, INRAE)

Le système de culture peut jouer à moyen terme mais toujours très subtilement selon les travaux sur le site expérimental INRAE de Lusignan : la RU est légèrement plus élevée sur des rotations intégrant conjointement prairies et céréales que sur des rotations en céréales pures ou en prairies permanentes seules. Ceci s'explique par des enracinements complémentaires permettant de mieux structurer le sol et par une activité des micro-organismes plus intense permettant de mieux retenir l'eau localement (Cousin et al., 2014).

Au-delà de cette corrélation, certains auteurs alertent sur le temps nécessaire pour augmenter le taux de matière organique d'un sol (Magdoff et Weil, 2004 ; Yves Pousset, 2020).

Si le lien entre la RU et la matière organique n'est pas clairement établi ou tout du moins semble à relativiser, il n'empêche que les leviers agro-écologiques influençant la répartition des différents flux hydrologiques (ruissellement, évaporation, infiltration) vont permettre d'augmenter la quantité d'eau réellement disponible pour la culture au cours de son cycle.

6.2. Focus sur l'Agriculture Biologique et les besoins en eau

Selon certaines études, les systèmes en Agriculture Biologique peuvent prétendre à une meilleure résistance vis-à-vis de la sécheresse car ils présentent globalement des taux de matières organiques plus élevés et des systèmes racinaires plus denses et profonds (Gomerio et al., 2011 ; Pimentel et al., 2005). Certains agriculteurs enquêtés confirment cette tendance pour certaines cultures depuis leur conversion.

Si on s'intéresse aux consommations d'eau d'irrigation, les systèmes en Agriculture Biologique auraient en général moins recours à l'irrigation. Ceci s'explique par des objectifs de rendement et des niveaux de fertilisation plus faibles. Le développement foliaire serait en conséquence moins important ce qui traduirait une moindre évapotranspiration (Guyomart, 2013 a et b ; Sautereau et Benoit, 2016). Cependant à l'échelle de la France, on ne saurait l'observer puisque l'Agriculture Biologique est majoritairement représentée par des filières de production exigeantes en eau comme l'arboriculture et le maraîchage. Ainsi, il est nécessaire de faire l'analyse sur des systèmes comparables entre eux (Sautereau et Benoit, 2016).

Selon le rapport CGAAER de 2019, les consommations d'eau en Agriculture Biologique et en Agriculture Conventiennelle sont similaires (étude de cas Midour ; CGAAER, 2019). Un certain nombre d'entretiens dressent les mêmes conclusions. Les principales raisons évoquées sont les suivantes :

- Les logiques de conversion ne sont pas orientées sur ces enjeux ;
- Les conversions se font dans un objectif de performance économique, ce qui ne va pas se traduire par des économies en eau d'irrigation significatives ;
- Le cahier des charges Bio ne présente actuellement pas de mesures spécifiques ;
- Une approche agronomique de l'Agriculture Biologique pourrait permettre de réduire les besoins en eau. Considérant cela, ce n'est pas tant le mode de production en lui-même qui importe mais les pratiques mises en place par l'agriculteur, qu'il soit Bio ou Conventiennel. Ainsi, les stratégies individuelles seraient des facteurs plus déterminants ;

Témoignages d'acteurs

Dans les Deux-Sèvres, des exploitations mixtes s'engagent à réduire l'irrigation en la mobilisant prioritairement sur la partie Bio de l'exploitation (dont le produit à l'hectare est à ce jour mieux valorisé économiquement).

En Hauts de France, on constate des conversions sur des exploitations historiquement en grande culture ou polyculture élevage, sans irrigation. La conversion en Bio se fait avec une réorientation d'une partie de l'exploitation (maraîchage, légumes ou volailles) et une demande en eau d'irrigation. Ces conversions posent questions sur les prélèvements à venir et les risques de pollutions atmosphériques à l'échelle du territoire.

6.2.1. Performances de l'Agriculture Biologique sur d'autres enjeux environnementaux

Le tableau 5 dresse un état des lieux des bénéfices et limites de l'Agriculture Biologique vis-à-vis de certains autres enjeux environnementaux. Ces résultats sont issus d'études et de synthèses de l'INRAE (Guyomart, 2013 a et b ; Sautereau et Benoit, 2016 ; INRA, 2018 ; Benoit et al., 2014). Notons que selon les contextes pédoclimatiques et les stratégies de production d'une exploitation à l'autre, ce bilan varie ou n'est pas observable.

Tableau 5: bénéfices attendus et limites possibles de l'Agriculture Biologique sur les principaux indicateurs environnementaux

	Bénéfices attendus	Limites possibles
Consommations énergétiques	Bilan positif car la mécanisation est contrebalancée par des usages d'intrants plus faibles (moins de consommation indirecte)	Bilan négatif pour les systèmes très mécanisés (pomme de terre, vigne, arboriculture) et pour les élevages de volailles à chair et de poules pondeuses (allongement de l'âge d'abattage)
Sol	Enrichissement en matière organique et augmentation de l'activité biologique	Problèmes de structure si le travail du sol est intensif
Lessivage des nitrates	Grâce à une fertilisation réduite, des apports plus stables, une couverture des sols et l'effet de la rotation : - 5.3kgN/ha en grande culture comparé au conventionnel	Risques lors du retournement des luzernes et des prairies temporaires. Bilan mitigé par unité produite, notamment en maraîchage
Produits de protection des plantes	Absence de produits phytosanitaires de synthèse. Les produits homologués Bio sont plus rapidement dégradés dans le sol	Accumulation de cuivre et de soufre dans les sols
Bilan GES	Bilan positif par unité de surface	Bilan négatif par unité produite. Le mode de gestion (extensif/intensif) a plus d'effet que le mode de production

L'accumulation de cuivre dans les sols est une problématique importante. La fréquence des traitements peut être élevée (15 par an contre le mildiou de la vigne, 10 à 20 par an contre la tavelure de la pomme). La consommation moyenne en France est de 5 kg/ha/an mais on observe de fortes disparités régionales. Des alternatives existent mais sont peu utilisées car trop contraignantes ou coûteuses. D'autres solutions sont étudiées par la recherche comme le choix variétal, l'usage de produits stimulateurs de défenses des plantes, la lutte biologique avec des micro-organismes... La combinaison des leviers agronomiques et des solutions produits est nécessaire pour obtenir des systèmes durables sans cuivre (INRA, résumé de l'expertise scientifique collective, 2018).

6.3. Focus sur l'Agriculture de Conservation et les besoins en eau

L'Agriculture de Conservation des sols (ACS) est un système de production reposant sur trois piliers fondamentaux : l'allongement et la diversification de la rotation, la couverture des sols et la réduction du travail du sol (non labour, techniques culturales simplifiées, semis direct...). Selon les exploitations, le travail du sol peut être totalement abandonné.

L'ACS est considérée comme plus résiliente vis-à-vis du changement climatique grâce à une amélioration de la fertilité des sols. En situation de stress hydrique, elle permettrait de meilleur rendement qu'en conventionnel et des économies d'eau d'irrigation, même sur les territoires les plus arides (Kassam et al., 2019).

Le tableau 6 dresse un bilan des bénéfices et limites de l'ACS par rapport aux leviers agronomiques influant sur le cycle de l'eau (Guyomart, 2013 ; Scopel et al, 2013 ; Pisante et al., 2015 ; Pittelkow et al., 2014).

Tableau 6 : bénéfices attendus et limites possibles de l'ACS en fonction de ses piliers agronomiques

	Bénéfices attendus	Limites possibles
Semis Direct	Réduction de l'évaporation du sol Maintien de l'humidité du sol	Dépendance aux herbicides Augmentation de la fertilisation azotée pour compenser une minéralisation plus lente
Résidus de culture non exportés	Maintien de l'humidité du sol	Plus de risque maladies
Repousses et couverts	Augmentation du taux de matière organique et de l'activité biologique Réduction de l'évaporation du sol Augmentation de l'infiltration	Compétition pour l'eau mais compensée si le couvert est détruit tôt
Mulch et paillage	Besoins en eau réduits de 10 à 15% selon l'épaisseur	Difficultés d'implantation des cultures suivantes

Les entretiens réalisés auprès des acteurs ont mis en évidence un manque d'études englobant l'ensemble des trois piliers de l'ACS. De plus, les études ont principalement été conduites dans des contextes pédoclimatiques différents de la France, ce qui rend la généralisation des conclusions difficile.

Le projet BAG'AGES initié en 2016 vise à analyser les performances économiques et environnementales de pratiques agro-écologiques, notamment celles appliquées en Agriculture de Conservation. Le dispositif expérimental a été mis en place à l'échelle du Bassin Adour-Garonne sur des exploitations pratiquant l'ACS depuis 10 à 20 ans (Alleto et al.,

Poster 2018). Les résultats du projet BAG'AGES étant en cours de publication, les principaux enseignements présentés ci-dessous sont issus des entretiens réalisés auprès des responsables de recherche et des financeurs du projet.

- L'étude montre des différences de comportement hydrique selon les types de sol. Les effets bénéfiques de l'ACS sur l'eau sont donc très variables et dépendent du contexte pédoclimatique ;
- L'étude n'a pas permis de quantifier les besoins en eau et donc les économies d'eau potentielles en ACS. Par contre, l'efficacité de l'eau est améliorée : la capacité d'infiltration sera plus stable dans le temps grâce à l'activité biologique des sols et aux enracinements plus profonds des cultures ;
- Après 20 ans de pratiques en ACS, l'étude estime un gain de RU de 10 à 12% par rapport à la situation initiale. La MO a un effet majeur sur la stabilité structurale. La RU n'est donc pas forcément agrandi mais il est plus stable dans le temps ;

Ce projet a mis en évidence un manque de connaissances du fonctionnement hydrique des sols en ACS. La thèse en cours de Julie Bréchemier portée par l'INRAE permettra d'obtenir de nouvelles références. Le bilan hydrique de l'ACS sera également étudié en reprenant les mesures au champ du projet BAG'AGES et pour faire des simulations avec le modèle STICS.

Une autre perspective de recherche est le rôle des mycorhizes sur les flux d'eau dans le sol (cf. encadré page suivante). La thèse en cours d'Arthur Maers vise pour le moment à caractériser la nature et la diversité de ces micro-organismes. Les traits fonctionnels seront étudiés par la suite.

Complémentaire à BAG'AGES, le projet TASCII vise à analyser les performances des pratiques agroécologiques sur des exploitations plus jeunes et donc en transition. Le dispositif expérimental est également situé sur le Bassin Adour-Garonne et compte six exploitations pilotes et un site expérimental (CACG, Poster 2020).

Témoignage d'agriculteurs et d'acteurs

D'après un agriculteur mixte ACS et Bio, ses parcelles conduites en ACS subissent moins les effets de la sécheresse et valorisent mieux les pluies d'automne que ses parcelles travaillées.

Pour beaucoup d'acteurs interviewés, les besoins en eau au cours de la saison sont décalés mais les quantités nécessaires et utilisées seraient finalement les mêmes.

L'ACS est souvent considérée pour d'autres enjeux environnementaux ou de production (érosion, biodiversité, stockage du carbone, réduction des charges...). Enfin et pour certains agriculteurs, la complémentarité ACS et élevage est à encourager.

Les mycorhizes

Les mycorhizes correspondent à une symbiose entre une plante et un champignon, ce dernier ayant besoin de la plante pour survivre. Deux types de mycorhizes existent : les ectomycorhizes (observable surtout chez les ligneux) et les endomycorhizes à arbuscule, les plus répandues et caractérisées par l'insertion du champignon dans les cellules racinaires (Wipf, 2017).

Les services écosystémiques rendus par les mycorhizes arbusculaires sont nombreux (Gianinazzi et al., 2010). Concernant l'eau, les mycorhizes permettent une augmentation de la stabilité structurale et de la rétention en eau du sol grâce à la sécrétion de glomaline. Les autres services écosystémiques rendus portent sur une meilleure absorption des nutriments, notamment le phosphate, ce qui peut permettre de réduire la fertilisation. Les plantes mycorhizées sont globalement plus résistantes aux stress biotiques et abiotiques : c'est notamment le cas vis à vis des pathogènes, ce qui peut permettre une réduction des traitements phytosanitaires. Enfin, elles pourraient être utilisées pour la dépollution des sols et pour des usages médicaux. L'étude conclut à un besoin de connaissances scientifiques sur les effets des pratiques culturales (Gianinazzi et al., 2010).

Selon Jones (2009), le travail du sol et les apports d'intrants chimiques ont des effets négatifs sur la diversité des mycorhizes. Cependant, l'impact du travail du sol semble moindre que celui des intrants de synthèse. Selon ce même auteur, les hyphes hydrophiles jouent un rôle important sur les flux d'eau : prospection dans les micropores non accessibles aux racines ; connexion de macropores entre elles permettant d'augmenter la conductivité hydraulique des sols ; augmentation du nombre de racines et de leur profondeur d'enracinement (Jones, 2009).

Selon la méta-analyse de Jayne et al. (2013), la production de biomasse des cultures mycorhizées est en moyenne plus importante que celle des cultures non mycorhizées en situation de stress hydrique, sur l'ensemble des contextes pédoclimatiques et systèmes de production pris en compte. Par ailleurs, la réponse est meilleure pour les cultures pérennes que pour les cultures annuelles (Jayne et al., 2013).

Enfin, des recherches sont également réalisées en systèmes forestiers : des travaux de l'institut fédéral Suisse de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL) en partenariat avec des laboratoires de recherche dont l'INRAE, ont porté sur l'étude génomique du champignon *C. geophilum* : la production de canaux hydriques (aquaporines) et de protéines spécialisées est différente en condition de stress hydrique, ce qui pourrait expliquer une plus grande résistance de ces associations à la sécheresse (<https://www.wsl.ch/fr/news/2016/09/un-champignon-symbiotique-aide-les-plantes-en-cas-de-secheresse.html>).

En France, l'INRAE de Dijon (Groupe Santé des plantes : défenses et mycorhize) et de Toulouse (Laboratoire des Interactions Plantes-Microorganismes) étudie les mycorhizes de l'échelle de la cellule à celle de la parcelle dans le but de mieux comprendre les interactions et les services écosystémiques rendus.

(<https://www6.dijon.inrae.fr/umragroecologie>

<https://www6.toulouse.inrae.fr/lipm/Presentation>)

6.3.1. Performance de l'ACS sur d'autres enjeux environnementaux

Les performances de l'ACS vis-à-vis de l'azote et des produits phytosanitaires peuvent être considérées selon les usages et les transferts, dans l'hypothèse où on observerait des phénomènes de dégradation et de valorisation différents des systèmes conventionnels.

Les usages :

D'après les entretiens réalisés auprès des acteurs, les niveaux de fertilisation azotée en ACS sont similaires à ceux des conventionnels. L'intégration des légumineuses dans la rotation et dans les couverts végétaux permet de gagner en autonomie mais cela n'est pas suffisant. La stratégie des agriculteurs vis-à-vis de la fertilisation azotée est donc plutôt sécuritaire.

Concernant les traitements phytosanitaires, un temps de transition est nécessaire. Si les itinéraires techniques sont conduits correctement, on observe en général et après quelques années (de l'ordre de 5 à 8 ans) une réduction des Indices de Fréquence de Traitement (IFT). L'effet est rapide pour les fongicides et les insecticides. Sur les herbicides, la réduction est plus difficile : elle n'est généralement pas observée dans les projets conduits à l'échelle des territoires ou bassins versants mais on observe aussi des réussites individuelles (communication personnelle).

Un autre enjeu est le glyphosate dans un contexte où sa ré-homologation est incertaine. Utilisé en alternative du travail du sol pour détruire les couverts d'interculture ou préparer les semis, les doses sont en général faibles mais indispensables (1 à 2L/ha/an contre 5 à 6L/ha/an en dose homologuée selon les usages). Les solutions alternatives ne sont pas actuellement opérationnelles car coûteuses, contraignantes ou à efficacité variable selon les années (Lucas et al., 2018). Divers projets sont en cours pour avancer sur ce sujet (APAD ; communication personnelle).

Les transferts :

Concernant les risques de lessivage des nitrates, la bibliographie identifiée ne statue pas clairement sur un effet positif, neutre ou négatif... d'autant que certaines études ne prennent pas en compte les trois piliers de l'ACS ensemble (Colombani et al., 2020 ; Cooper et al., 2020 ; Daryanto et al., 2017).

En France, le dispositif expérimental « La Cage » à Versailles s'est intéressé aux cycles de l'azote et du carbone et des émissions de Gaz à Effet de Serre en comparant 4 modalités : Conventionnel, Bio, Bas intrants et Agriculture de Conservation. Sur les risques de lessivage des nitrates, l'étude n'a pas révélé de différences significatives. Elle conclut sur la nécessité de ne plus étudier les cycles indépendamment des uns des autres et de prendre en compte les nouvelles pratiques observées sur des exploitations agricoles en Bio comme en ACS (Auret et al., 2019).

Concernant les risques de transfert de matières actives, il est difficile d'établir des conclusions généralistes au vue de la diversité des matières actives, des types de sols et des pratiques observées en ACS. Les travaux de Cueff et al. (2020) mettent en évidence des flux préférentiels de sub-surface en conventionnel et des flux préférentiels verticaux en ACS (donc un risque accru par ce chemin). Selon les entretiens réalisés, la dégradation des matières actives peut effectivement être améliorée grâce à l'activité biologique des sols. Cependant les proportions restent modérées et en tout état de cause insuffisantes pour atteindre les objectifs de qualité fixés par la Directive Cadre sur l'Eau. La réduction des usages d'intrants doit donc aussi être mobilisée en ACS.

Dans ce chapitre, nous n'avons pas réalisé de comparatif entre les différentes formes de l'ACS en liant avec la réduction du travail du sol (semis direct partiel ou total, techniques culturales simplifiées, labour agronomique occasionnel).

Témoignage d'acteurs

Dans le cadre du projet TARGETT de la plateforme agro-écologie Occitanie, la réduction d'intrants en Agriculture de Conservation est étudiée en partenariat avec les lycées agricoles locaux. Le projet est orienté sur des modèles hybrides de l'ACS (c'est-à-dire autorisant un peu de travail du sol) et sur un ciblage précis des produits phytosanitaires à utiliser au regard de leurs caractéristiques physico-chimiques (foliaire/racinaire ; pré-levée/post-levée ; rétention-dégradation...).

6.4. L'Agriculture Biologique de Conservation est-elle possible ?

Considérant les bénéfices et limites de l'Agriculture Biologique et de l'Agriculture de Conservation, on peut se demander s'il ne serait pas possible de mixer les deux modes de production.

Sur le site expérimental de Thil de l'ISARA de Lyon, différents niveaux de travail du sol ont été testés sur des parcelles en Agriculture Biologique (labour traditionnel, labour agronomique, travail superficiel et semis direct). L'essai conduit de 2006 à 2016 conclut que les modalités semis direct et travail superficiel conduisent à des pertes de rendement et à des niveaux de pression adventices tels qu'elles ne sont pas envisageables pour des exploitations aux objectifs de production élevés (Peigné et al., 2019).

Une thèse récente fait état d'un manque de connaissances sur le semis direct sous couvert en Agriculture Biologique et d'un ensemble de complications techniques qui traduisent un déploiement faible de la pratique en Europe (Vincent-Caboud et al., 2017). Au travers du dispositif expérimental mis en place, la thèse confirme l'intérêt des couverts pour gérer les adventices dans la mesure où la production de biomasse est suffisante. Des recherches doivent être poursuivies sur cette notion de biomasse, particulièrement dans un contexte de changement climatique (Vincent-Caboud et al., 2019).

Témoignage d'acteurs

En région Hauts-de-France, le projet ABAC 2019-2021 porte sur la réduction du travail du sol en Agriculture Biologique et sur la réduction des herbicides en Agriculture de Conservation. Sur trois essais conduits sur des exploitations agricoles pilotes, les leviers mobilisés portent sur les couverts Biomax (8 à 10 espèces semées en mélange), les couverts doubles (un premier semé en août puis un deuxième semé en novembre), des cultures aux effets allélopatiques comme le sarrasin, le choix du matériel de destruction et enfin sur l'effet potentiel des ferments (purins d'ortie par exemple).

La jeunesse du projet ne permet pas de tirer de conclusions aujourd'hui d'autant que les conditions climatiques de cette année ont rendu l'expérimentation difficile à réaliser. Selon l'animateur en charge du projet, l'association Bio et Semis Direct serait possible mais que sur certaines cultures et lorsque l'année climatique est favorable.

7. Discussions et perspectives

7.1. Retours sur la méthode utilisée

Concernant la veille bibliographique pour l'identification de projets, l'échelle française a été privilégiée pour pouvoir prendre en compte les bons contextes pédoclimatiques. Cependant et en faisant ce choix, des publications scientifiques ou des projets ont pu être omis.

La recherche d'études sur les performances économiques et environnementales de l'irrigation s'est avérée difficile. Les données économiques sont généralement catégorisées par filière et nous n'avons pas identifié de rapports généraux ni d'évaluation économique à l'échelle du bassin versant. Les performances environnementales de l'irrigation retranscrites dans cette étude ont été étudiées par des instituts techniques afin d'accompagner les agriculteurs dans l'optimisation de leur pratiques de fertilisation et de protection phytosanitaire. Les publications scientifiques identifiées sur les liens entre irrigation et intrants avaient plutôt pour objectif de comparer des systèmes d'irrigation en entre eux ou d'évaluer des risques de transfert de micropolluants, comme dans le cas des systèmes d'irrigation à partir d'eaux usées. Les liens entre l'irrigation, le revenu et les usages d'intrants pourraient être analysés finement grâce aux bases de données du RICA (réseau d'information comptable agricole) accessibles dans le cadre de projet de recherche scientifique (communication personnelle).

L'entrée croisée PTGE-GIEE s'est révélée pertinente puisque la majorité des entretiens s'est réalisée grâce à cela. Cependant, peu de GIEE contactés travaillaient sur la gestion quantitative de l'eau car se concentraient sur d'autres thématiques (qualité de l'eau, stockage du carbone, biodiversité...). Concernant les PTGE, la plupart se sont révélés trop jeunes dans le processus : les actions actuellement réalisées portent essentiellement sur des diagnostics et des formations. D'une manière, il a été difficile de trouver des agriculteurs.

Concernant les entretiens réalisés auprès des agriculteurs, on constate une surreprésentation d'exploitations en Agriculture Biologique. Ceci s'explique par le fait qu'un certain nombre de structures ayant répondu à notre sollicitation accompagnaient majoritairement des agriculteurs Bio. De plus, certaines exploitations sont en filière courte ou sur des produits à forte valeur ajoutée. Les stratégies de production peuvent être différentes en Agriculture Biologique ou en filière valorisante, il convient donc de bien prendre en compte cela dans l'analyse des diagnostics. Ce biais n'a pas pu être rattrapé par des entretiens auprès d'agriculteurs conventionnels par manque de temps. Si cette étude est poursuivie, il serait pertinent de cibler des agriculteurs conventionnels et/ou en filière longue pour plus de représentativité.

On peut également noter que les éleveurs enquêtés étaient majoritairement en bovins laits : l'étude n'est donc pas représentative de la diversité des élevages.

Enfin, la récupération des indicateurs économiques, environnementaux et des consommations d'eau n'a pas été possible pour la majorité des diagnostics. Les économies d'eau ou la résistance à la sécheresse ont donc été considérées qualitativement sur la base des ressentis des agriculteurs.

7.2. Discussion sur les résultats obtenus

Les tendances robustes du changement climatique indiquant une augmentation des fréquences et des durées de sécheresse ne doivent pas faire oublier la variabilité interannuelle des paramètres météorologiques (gel, vent, excès d'eau) et la nécessité pour les agriculteurs de prendre en compte l'ensemble de ces événements qui peuvent avoir des conséquences toutes aussi importantes sur leurs exploitations. Les leviers activés doivent donc répondre au risque de sécheresse mais également aux autres aléas climatiques. On peut également observer des microclimats et une diversité de types de sol qui engendrent des pratiques différentes pour des exploitations pourtant voisines géographiquement.

Certains entretiens ont également mis en évidence des différences de perception de la sécheresse, notamment sur des territoires historiquement connus pour des problématiques d'excès en eau. Par ailleurs, sur des filières telles que la vigne, le changement climatique peut être perçu différemment selon que la production soit orientée sur le rendement ou la qualité. Tout ceci peut se traduire par des niveaux d'appropriation et d'avancement différents d'un territoire à l'autre aussi bien sur les dispositifs expérimentaux mis en place que sur les orientations prises dans les programmes de financement.

Les entretiens réalisés auprès des acteurs ont mis en évidence d'autres enjeux qui peuvent entrer en confrontation avec celui de la gestion quantitative de l'eau. Sur certains territoires, il peut être nécessaire de faire des compromis en choisissant de travailler sur une autre thématique jugée prioritaire. D'autres enjeux ou intérêts peuvent également s'observer sur les exploitations agricoles : fertilité des sols, réduction des émissions de gaz à effet de serre, développement des énergies renouvelables, autonomie alimentaire du troupeau, qualité de l'eau sur les Aires d'Alimentation de Captages... auxquels s'ajoute l'importance du facteur humain pour améliorer ses conditions de travail. Ainsi, les pratiques identifiées ici pour la gestion quantitative de l'eau sont à intégrer dans une approche beaucoup plus globale de l'exploitation.

Les leviers agro-écologiques mobilisables pour faire des économies d'eau ou être plus résistant à la sécheresse sont nombreux. Cependant, ils sont à relativiser au regard d'un certain nombre de points révélés par la bibliographie et les entretiens :

- Le contexte pédoclimatique à l'échelle d'un territoire et même d'une exploitation agricole fait que ces leviers ne sont pas toujours reproductibles et généralisables. Le caractère plus ou moins superficiel des sols peut véritablement freiner l'adoption de nouvelles pratiques et systèmes, notamment ceux de l'Agriculture de Conservation et de l'Agroforesterie. Le potentiel agronomique des sols ainsi que la pluviométrie annuelle peuvent également limiter les possibilités de diversification sur des territoires non irrigables. Le manque d'eau à certaines périodes de l'année peut

limiter le potentiel des couverts végétaux qui ne lèvent pas correctement et ne produisent pas suffisamment de biomasse foliaire.

- Bien que cela dépende de la situation de départ et des objectifs de production, certains leviers agro-écologiques sont à considérer sur le moyen et long terme. Plus généralement, les changements de systèmes s'accompagnent d'un temps de transition qu'il est important de prendre en compte.
- Le rôle joué par les filières est un facteur déterminant pour l'adoption de cultures plus économes en eau et en intrants et les modifications d'assolement qui s'en suivent. En l'absence de valorisation économique suffisante, les agriculteurs ne seront pas incités à mobiliser ces leviers, d'autant plus dans un contexte économique actuel difficile pour le secteur agricole. Pour des exploitations ayant réussi l'intégration d'une nouvelle culture ou d'un atelier d'élevage, l'absence de filière locale peut poser des difficultés au démarrage puisque les compétences techniques sont inexistantes. Les cahiers des charges imposés par la filière peuvent également limiter les possibilités pour les agriculteurs (choix des cépages, calibrage des fruits et légumes, taux de protéines des céréales, qualité du lait...). Les entretiens réalisés interrogent enfin sur la nécessité d'avoir une forme de valorisation économique (Agriculture Biologique, AOP, vente directe, atelier de transformation) pour se sentir suffisamment sécurisé et engager des changements sur son exploitation.
- Il est difficile de quantifier les économies d'eau permises par une pratique à l'échelle d'une exploitation puisque d'autres facteurs entrent en jeu (types de sols et itinéraires techniques propres à chacun). A l'échelle d'un territoire ou d'un bassin versant, cette quantification est encore plus difficile à établir. Ce manque de connaissances peut expliquer en partie la prédominance des leviers liés à l'irrigation sur ceux liés à l'agronomie sur certains territoires. A l'échelle du Bassin Adour-Garonne, l'étude Solagro de 2017 a permis de réaliser ce travail de quantification mais sur certains leviers uniquement (figure 15).

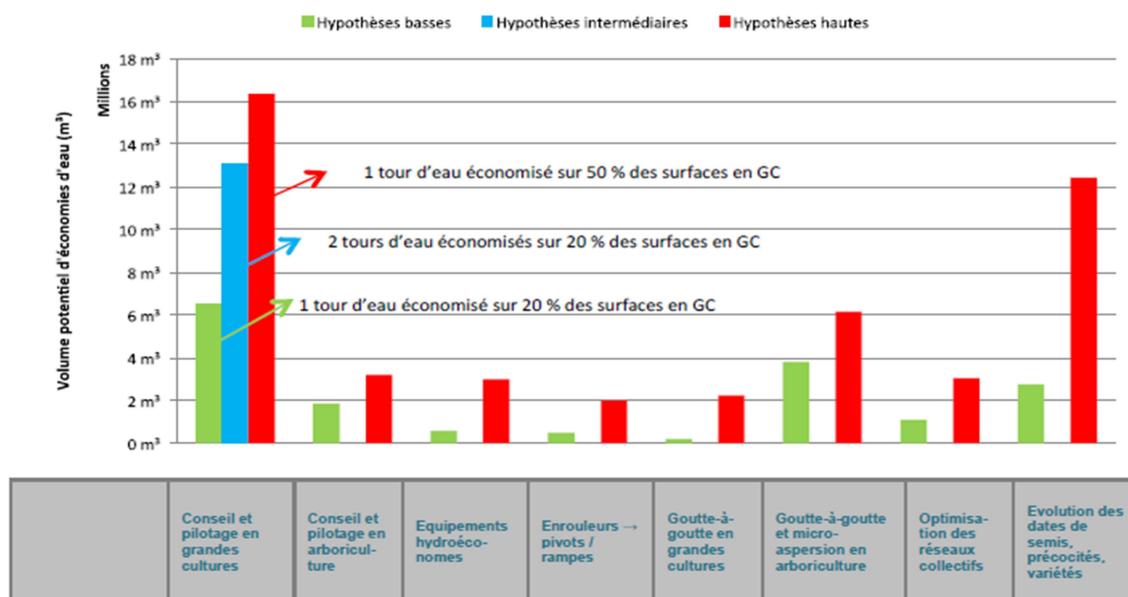


Figure 2 : Volume potentiel d'économies d'eau mobilisable par action à horizon 10 ans dans les 58 périmètres élémentaires en déséquilibre quantitatif du bassin Adour-Garonne (prélèvements en eaux superficielles et nappes d'accompagnement)

Figure 15: évaluation des économies d'eau permises par certains leviers techniques et agronomiques à l'échelle d'un territoire (Etude Solagro 2017 Bassin Adour-Garonne)

7.3. Perspectives

Quantifier les économies d'eau à l'échelle des territoires pour l'ensemble des leviers possibles semble indispensable pour faciliter d'une part leur appropriation par les agriculteurs et d'autre part cibler les actions les plus efficaces. Des outils de modélisation représentant le fonctionnement hydrologique et agronomique des bassins versants agricoles tels que MAELIA ou MHYDAS-small-reservoir. Ces modèles décrivent via le module Aq-Yield les décisions des agriculteurs sur les pratiques d'irrigation en fonction du stade de la culture et des conditions climatiques et permettent de simuler l'impact de ces décisions sur les ressources en eau (Molénat et al., 2020).

L'instruction conjointe des ministères de l'écologie et de l'agriculture du 9 mai 2019 n'oppose pas les leviers liés à l'irrigation et ceux liés à l'agro-écologie, les deux pouvant être complémentaires. Elle souligne que ces deux types de leviers doivent être employés dans un souci d'économie en eau dans les bassins versants en déficit hydrique. Cela sous-entend donc qu'il est nécessaire de poursuivre la recherche sur l'agro-écologie, sur l'efficacité du matériel d'irrigation et sur la possibilité de créer des retenues d'eau aux impacts les plus limités possibles sur les milieux.

De nouveaux dispositifs d'irrigation sont en cours d'expérimentation : dans l'Aude, un site de démonstration de 80 ha sera mis en place en 2021 pour l'irrigation des vignes à partir d'eaux usées. Ce dispositif devrait permettre moins de prélèvement sur le réseau et une économie circulaire à l'échelle des communes concernées. Cependant, ce type de démarche n'est certainement pas généralisable et limité à certains secteurs. En élevage, l'irrigation d'appoint à partir d'eaux brunes pourrait également se développer. Enfin, l'irrigation pilotée en intra-parcellaire grâce à la cartographie est une piste d'amélioration étudiée.

En matière d'innovation hors irrigation, citons l'agrivoltaïsme qui a fait l'objet d'une thèse (Yassin Elamri, 2017). Des dispositifs expérimentaux en arboriculture et viticulture ont été également mis en place récemment : les hypothèses de départ sont une réduction de la transpiration et du stress thermique grâce aux effets d'ombrage.

Les entretiens réalisés auprès des agriculteurs ont permis de recenser un certain nombre de besoins. D'une manière générale, ces derniers soulèvent un manque de références techniques et de connaissances scientifiques sur lesquels s'appuyer pour vérifier leurs ressentis et leurs observations au champ. Si les références et connaissances existent, on peut considérer un manque d'échanges ou d'accès aux informations. Les pas de temps entre la recherche et l'activité agricole sont également différents et les agriculteurs auraient besoin d'une plus grande réactivité. Les besoins identifiés portent principalement sur la recherche variétale, le machinisme et sur un accompagnement global de l'exploitation quand elle s'engage dans une nouvelle filière. Beaucoup d'agriculteurs sont très sensibles aux enjeux de biodiversité et sont intéressés par les avancées de la recherche à ces sujets. Les besoins de recherche n'ont pas été spécifiquement abordés auprès des gestionnaires de

bassins versants : ces derniers pouvant être différents de ceux des agriculteurs, il serait pertinent de les prendre en compte à l'avenir.

Les dynamiques collectives portées par des GIEE mais aussi par des CUMA ou des groupes plus informels facilitent les échanges et la mutualisation des moyens. Intégrer la gestion quantitative de l'eau dans ces démarches existantes permettrait d'accélérer l'acquisition des connaissances scientifiques et des références techniques. Les dispositifs d'accompagnement financiers pourraient également être plus orientés sur ces sujets au travers des MAEC, des PCAE ou des futurs PSE. Il est à noter que selon les régions, des financements sont déjà possibles sur du matériel d'irrigation et sur des plantations d'arbres.

La FNAB, Fédération Nationale de l'Agriculture Biologique, réfléchit actuellement à une meilleure intégration de la gestion quantitative de l'eau dans le cahier des charges Bio, réflexion qui pourrait s'élargir à d'autres cahiers des charges et marques collectives. Enfin, ce sujet pourrait même être envisagé à l'échelle du consommateur, comme en témoigne les travaux du projet LACAVE sur l'adaptation de la viticulture et de la filière vin au changement climatique. De nouveaux indicateurs de type « Eau Bleue » dans les analyses de cycle de vie des produits et régimes alimentaires permettraient également de sensibiliser le consommateur final à ces enjeux.

Besoins et perspectives pour la recherche

- Définir les relations entre l'irrigation, ses performances économiques, les usages d'intrants et les risques pour la qualité de l'eau sur un jeu de données suffisant et représentatif des filières agricoles en France.
- Poursuivre la sélection de variétés, cépages et espèces adaptés à la sécheresse et à l'ombrage pour le cas de l'agroforesterie.
- Mettre en place des dispositifs expérimentaux de type BAG'AGES sur d'autres contextes pédoclimatiques.
- Etudier l'impact de la structure paysagère et de la mosaïque de cultures.
- Mieux définir le microclimat en agroforesterie et système bocager à l'échelle de la parcelle et du bassin versant, selon les contextes pédoclimatiques. Quantifier les bénéfices et les limites.
- Définir le comportement hydrique des sols conduits en Agriculture de Conservation et en Agroforesterie et quantifier les effets.
- Réduction des usages herbicides en Agriculture de Conservation et réduction du travail du sol en Agriculture Biologique : poursuivre le travail de recherche sur les couverts et les cultures de service.
- Poursuivre les travaux de modélisation pour quantifier les économies d'eau à l'échelle du bassin versant.
- Réaliser des évaluations économiques de l'irrigation et des leviers agro-écologiques à l'échelle du bassin versant.
- Intégrer le besoins de recherche des gestionnaires de bassins versants.
- Prendre en compte la multifonctionnalité des systèmes agricoles pour l'analyse de leur durabilité (être performant sur tous les paramètres n'étant peut-être pas possible).

8. Annexes

8.1. Références bibliographiques

Béral, C., Andueza, D., Ginane, C., Bernard, M., Liagre, F., Girardin, N., ... & Bizeray-Filoché, D. (2018). *PARASOL: AGROFORESTERIE EN SYSTÈME D'ÉLEVAGE OVIN-Étude de son potentiel dans le cadre de l'adaptation au changement climatique* (Doctoral dissertation, Agrofoot; Inra; Idele; UniLaSalle).

Aguirre, H. I. (2018). À la recherche de la facilitation en agroforesterie: la présence des arbres réduit-elle les stress hydrique et thermique dans les dernières phases de croissance des céréales d'hiver en climat méditerranéen? Une approche expérimentale et de modélisation. Thèse de doctorat.

Alami, S. (2018), Le Sorgho, le géant des plantes utiles? GT-Bioéconomie Agri'idées, CIRAD, présentation Altieri, M. A., Nicholls, C. I., Henao, A., & Lana, M. A. (2015). Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. *Agronomy for sustainable development*, 35(3), 869-890.

Amigues, J. P., Debaeke, P., Itier, B., Lemaire, G., Seguin, B., Tardieu, F., ... & Uesc, E. S. C. (2006). Sécheresse et agriculture. Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau. Expertise scientifique collective. Synthèse du rapport.

Andrивon, D., & Savini, I. (2019). *Peut-on se passer du cuivre en protection des cultures biologiques?* (p. 126). éditions Quae.

Aspar, J. (2019) Pratiques et systèmes agricoles résilients en condition de sécheresse, quels leviers agro-écologiques pour les agriculteurs du bassin Seine-Normandie? *AESN-AGROPARISTECH, mémoire de stage*.

AgroTransfert, Projet Eauption plus Fiche 1 : les impacts du manque d'eau sur la productivité et la qualité en culture de pomme de terre

Arvalis, 2007, Perspectives agricoles, Protéagineux : avancer la date de semis pour limiter les apports d'eau -> Gaillard, B. (2007). Protéagineux : avancer la date de semis pour limiter les apports d'eau. *Perspectives agricoles*, (335), 82

Arvalis, 2018 dans Perspectives Agricoles n°457 : Irrigation du maïs, le goutte à goutte équivalent à l'aspersion -> Bouthier, A., Cabeza-Orcel, P., Fontaine, B., Gendre, S., & Lacroix, B. (2018). Irrigation du maïs: le goutte-à-goutte équivalent à l'aspersion. *Perspectives agricoles*, (457), 12

Arvalis, 2019 dans Perspectives Agricoles n°468 : Irrigation du maïs grain, quel système choisir pour économiser l'eau? -> Gendre, S., & Pousset, Y. (2019). Irrigation du maïs grain: quel système choisir pour économiser l'eau?. *Perspectives agricoles*, (468), 57-61.

Autret, B., Beaudoin, N., Rakotovololona, L., Bertrand, M., Grandeau, G., Gréhan, E., ... & Mary, B. (2019). Can alternative cropping systems mitigate nitrogen losses and improve GHG balance? Results from a 19-yr experiment in Northern France. *Geoderma*, 342, 20-33

Barakat, M. (2017). Maîtrise de l'azote en système irrigué: application au contexte méditerranéen. *Thèse de doctorat, Université de Lyon, ENTPE*.

- Barot, S., Allard, V., Cantarel, A., Enjalbert, J., Gauffreteau, A., Goldringer, I., ... & Porcher, E. (2017). Designing mixtures of varieties for multifunctional agriculture with the help of ecology. A review. *Agronomy for sustainable development*, 37(2), 13.
- Benhamou, C. (2012). Modélisation de l'effet des interactions haies-cultures sur les transferts d'eau et d'azote à l'échelle d'un petit bassin versant agricole – Thèse de doctorat, Agrocampus Ouest.
- Benoit, M. (2014). *Les fuites d'azote en grandes cultures céréalières: Lixiviation et émissions atmosphériques dans des systèmes biologiques et conventionnels du bassin de la Seine (France)* (Doctoral dissertation).
- Borredon, M. E., Berger, M., Dauguet, S., Labalette, F., Merrien, A., Mouloungui, Z., & Raoul, Y. (2011). Débouchés actuels et futurs du tournesol produit en France-Critères de qualité. *Innovations Agronomiques*, 14, 19-38.
- Brisson, N. (2008). Modéliser la réponse des cultures à la contrainte hydrique avec le modèle STICS pour comparer des stratégies et anticiper les changements climatiques. *Innovations Agronomiques*, 2, 9-18.
- Café-Filho, A. C., Lopes, C. A., & Rossato, M. (2019). Management of plant disease epidemics with irrigation practices. *Irrigation in Agroecosystems*, 123.
- Cardinael, R., Mao, Z., Chenu, C., & Hinsinger, P. (2020). Belowground functioning of agroforestry systems: Recent advances and perspectives.
- Cassagne, J. P. (2017a). Analyse économique des exploitations agricoles irrigant du maïs grain. *Agreste Analyse et études Occitanie N3*
- Cassagne, J. P. (2017b). L'irrigation vectrice de la production fruitière. *Agreste, Analyse et études Occitanie N4*
- CGAAER, (2017) Eau, agriculture et changement climatique : Statu-quo ou anticipation ? – Rapport d'expertise
- CGAAER, (2019) Changement climatique, eau, agriculture – rapport d'expertise
- Chervet, A., Ramseier, L., Sturny, W. G., WEISSKOPF, P., Zihlmann, U., MÜLLER, M., & SCHAFELÜTZEL, R. (2006). Humidité du sol en semis direct et sous labour. *Revue suisse Agric*, 38(4), 185-192.
- Colombani, N., Mastrocicco, M., Vincenzi, F., & Castaldelli, G. (2020). Modeling Soil Nitrate Accumulation and Leaching in Conventional and Conservation Agriculture Cropping Systems. *Water*, 12(6), 1571.
- Cooper, R. J., Hama-Aziz, Z. Q., Hiscock, K. M., Lovett, A. A., Vrain, E., Dugdale, S. J., ... & Noble, L. (2020). Conservation tillage and soil health: Lessons from a 5-year UK farm trial (2013–2018). *Soil and Tillage Research*, 202, 104648.
- Cousin, I., Bourgeois, F., Gaillard, H., Le Bas, C., Chabbi, A., & Doussan, C. (2014, June). Le système de cultures modifie le Réservoir Utilisable d'horizons profonds de sols en une décennie. In 12. *Journées d'Etude des Sols (JES)* (pp. 350-p).

- Cueff, S., Alletto, L., Bourdat-Deschamps, M., Benoit, P., & Pot, V. (2020). Water and pesticide transfers in undisturbed soil columns sampled from a Stagnic Luvisol and a Vermic Umbrisol both cultivated under conventional and conservation agriculture. *Geoderma*, 377, 114590.
- Daryanto, S., Wang, L., & Jacinthe, P. A. (2017). Impacts of no-tillage management on nitrate loss from corn, soybean and wheat cultivation: A meta-analysis. *Scientific reports*, 7(1), 1-9.
- Debaeke, P., Willaume, M., Casadebaig, P., & Nolot, J. M. (2008). Raisonner les systèmes de culture en fonction de la disponibilité en eau. *Innovations Agronomiques*, 2, 19-36.
- Demir, Y., & Doğan Demir, A. (2019). The effect of organic matter applications on the saturated hydraulic conductivity and available water-holding capacity of sandy soils. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(2), 3137-3146.
- Dupraz, C., & Liagre, F. (2008). *Agroforesterie: des arbres et des cultures*. France Agricole Editions.
- Dupraz, C., Liagre, F., Querne, A., Andrianarisoa, S., & Talbot, G. (2011). L'agroforesterie peut-elle permettre de réduire les pollutions diffuses azotées d'origine agricole? *Rapport de contrat de recherche avec l'Agence de l'eau Rhône, Méditerranée, Corse*.
- Eden, M., Gerke, H. H., & Houot, S. (2017). Organic waste recycling in agriculture and related effects on soil water retention and plant available water: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37(2), 11.
- Enjalbert, J., Litrico, I., Fournier, E., Médiène, S., Gauffreteau, A., Borg, J., ... & Justes, E. (2019). Mélanges variétaux et mélanges plurispécifiques—atouts et contraintes.
- Fourné, L., Fontaine, L., Cadillon, A., & Glachant, C. (2012). La luzerne, clé de durabilité des systèmes de grandes cultures biologiques. *Alter agri: bimestriel des agricultures alternatives*, (115), 22-25.
- Gary, C., Métay, A., & Celette, F. (2009). Enherbement et gestion du stress hydro-azoté de la vigne. In *Actes de la rencontre technique «Pulvérisation et entretien du sol en viticulture durable»*, Toulouse, IFV sud-ouest (pp. 20-p).
- Gary, C., Gaudin, R., & Metay, A. (2014). Gestion de l'entretien du sol et fonctionnement hydrique du vignoble. *Innovations Agronomiques*, 38, 109-116.
- Gianinazzi, S., Gollotte, A., Binet, M. N., van Tuinen, D., Redecker, D., & Wipf, D. (2010). Agroecology: the key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services. *Mycorrhiza*, 20(8), 519-530.
- Gomiero, T., Pimentel, D., & Paoletti, M. G. (2011). Environmental impact of different agricultural management practices: conventional vs. organic agriculture. *Critical reviews in plant sciences*, 30(1-2), 95-124.
- Grimaldi, J. (2016). Microclimate patterns in an agroforestry intercropped vineyard: First results. In *3rd European Agroforestry Conference Montpellier, 23-25 May 2016*. EURAF.
- Guyomart, H. (2013a), Analyse des performances de l'Agriculture Biologique, Rapport technique INRA

- Guyomart, H. (2013b), Evaluation des performances de pratiques innovantes en Agriculture Conventionnelle, rapport technique INRA
- Huntington, T. G. (2005). Available water capacity and soil organic matter. In *Encyclopedia of Soil Science-Two-Volume Set* (pp. 139-143). CRC Press.
- ITAB – Arvalis, (2012). La Luzerne, incontournable en grandes cultures biologiques ?
- Jayne, B., & Quigley, M. (2014). Influence of arbuscular mycorrhiza on growth and reproductive response of plants under water deficit: a meta-analysis. *Mycorrhiza*, 24(2), 109-119.
- Kassam, A., Friedrich, T., & Derpsch, R. (2019). Global spread of conservation agriculture. *International Journal of Environmental Studies*, 76(1), 29-51.
- Legave, J. M. (2009). Comment faire face aux changements climatiques en arboriculture fruitière?. *Innovations Agronomiques*, 7, 165-177.
- Lemaire, G. (2008). Sécheresse et production fourragère. *Innovations Agronomiques*, 2, 107-123.
- Liagre, F., Santi, F., & Vert, J. (2012). L'agroforesterie en France: intérêts et enjeux. *Forêt Entreprise*, (205), 21-26.
- Loubier, S., Garin, P., Hassenforder, E., Lejars, C., & Robichon, S. (2019). Analyse économique et financière des Projets de Territoire pour la Gestion de l'Eau (PTGE) à composante agricole. Principes méthodologiques. Montpellier: Irstea-UMR G-EAU
- Lucas, V., de Tourdonnet, S., Barbier, J. M., Cittadini, R. A., & Gasselin, P. (2018). Le glyphosate en agriculture de conservation: Un cas illustratif de la dépendance de l'agriculture française aux pesticides. In 12. *Journées de recherches en sciences sociales* (p. np). Magdoff, F., &
- Weil, R. R. (2004). Soil organic matter management strategies. *Soil organic matter in sustainable agriculture*, 45-65.
- Mailhol, J. C., Ruelle, P., Dejean, C., & Rosique, P. (2013). Le goutte à goutte enterré: une solution innovante pour irriguer sous conditions restrictives en eau. *Sciences Eaux Territoires*, (2), 26-29.
- Mateos L., (2020) 34 : Efficience de l'irrigation et économies d'eau : effet d'échelles et effet rebond. *Sciences, Eaux et Territoires*, (34), 86-88.
- Maury, P., Andrianasolo, F. N., Alric, F., Berger, M., Beugniet, G., Chambert, C., ... & Jeanson, P. (2015). Le semis très précoce: une stratégie agronomique pour améliorer les performances du soja en France?. *OCL Oilseeds and fats crops and lipids*, 22(5), 11-p.
- Meilhac, J. (2018). *Impact de la diversité génétique des communautés prairiales sur la production et la biodiversité du sol: Implications pour l'amélioration des plantes* (Doctoral dissertation, Université de Poitiers).
- Melis, R. A., Julier, B., Pecetti, L., Thami-Alami, I., Abbas, K., Laouar, M., ... & Porqueddu, C. (2017). La culture de la luzerne dans un climat méditerranéen. Rapport technique, Projet REFORMA
- Meyer, N., Bergez, J. E., Constantin, J., & Justes, E. (2019). Cover crops reduce water drainage in temperate climates: A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 39(1), 3.

- Meyer, N. (2020). *Evaluation de l'impact des cultures intermédiaires multi-services sur le bilan hydrique des sols: approche par expérimentation et simulation. Application au bassin Adour-Garonne* (Doctoral dissertation).
- Moraru, P. I., & Rusu, T. (2010). Soil tillage conservation and its effect on soil organic matter, water management and carbon sequestration. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 8(3-4), 309-312.
- Mujdeci, M., Simsek, S., & Uygur, V. (2017). The effects of organic amendments on soil water retention characteristics under conventional tillage system. *Fresenius Environmental Bulletin*, 26(6), 4075-4081.
- Novak, S., & Emile, J. C. (2014). Associer des approches analytiques et systémiques pour concevoir un système laitier innovant: de la Fée à l'OasYs. *Fourrages*, (217), 47-56.
- Novak, S., Audebert, G., Chargelegue, F., & Emile, J. C. (2018). Sécuriser un système laitier avec des fourrages économes en eau et en énergie fossile. *Fourrages*, 233, 27-34.
- Novak, S., Barre, P., Delagarde, R., Mahieu, S., Niderkorn, V., & Emile, J. C. (2020a). Composition chimique et digestibilité in vitro des feuilles d'arbre, d'arbuste et de liane des milieux tempérés en été. *Fourrages*, 242, 35-47.
- Novak et al, (2020b) Analyse technico-économique d'un système bovin laitier agroécologique adapté au changement climatique. En cours de publication.
- Pelzer, E., Bedoussac, L., Corre-Hellou, G., Jeuffroy, M. H., Métivier, T., & Naudin, C. (2014). Association de cultures annuelles combinant une légumineuse et une céréale: retours d'expériences d'agriculteurs et analyse.
- Pimentel, D., Hepperly, P., Hanson, J., Douds, D., & Seidel, R. (2005). Environmental, energetic, and economic comparisons of organic and conventional farming systems. *BioScience*, 55(7), 573-582.
- Pisante, M. I. C. H. E. L. E., Stagnari, F. A. B. I. O., Acutis, M., Bindi, M., Brilli, L., Di Stefano, V., & Carozzi, M. (2015). Conservation agriculture and climate change. In *Conservation agriculture* (pp. 579-620). Springer, Cham.
- Pittelkow, C. M., Liang, X., Linqvist, B. A., Van Groenigen, K. J., Lee, J., Lundy, M. E., ... & Van Kessel, C. (2015). Productivity limits and potentials of the principles of conservation agriculture. *Nature*, 517(7534), 365-368.
- Prosdocimi, M., Tarolli, P., & Cerdà, A. (2016). Mulching practices for reducing soil water erosion: A review. *Earth-Science Reviews*, 161, 191-203.
- Sautereau, N., & Benoit, M. (2016). *Quantifier et chiffrer économiquement les externalités de l'agriculture biologique?* Thèse de doctorat, Institut Technique de l'Agriculture Biologique (ITAB)).
- Scopel, E., Triomphe, B., Affholder, F., Da Silva, F. A. M., Corbeels, M., Xavier, J. H. V., ... & de Carvalho Mendes, I. (2013). Conservation agriculture cropping systems in temperate and tropical conditions, performances and impacts. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 33(1), 113-130.

Serra-Wittling, C., Molle, B., & Cheviron, B. (2019). Plot level assessment of irrigation water savings due to the shift from sprinkler to localized irrigation systems or to the use of soil hydric status probes. Application in the French context. *Agricultural Water Management*, 223, 105682.

Serra-Wittling, C. , & Molle, B. (2017). *Evaluation des économies d'eau à la parcelle réalisables par la modernisation des systèmes d'irrigation*. Thèse de doctorat, Irstea.

Schoving, C., Alric, F., Berger, M., Chambert, C., Champolivier, L., Colombet, C., ... & Stöckle, C. O. (2019). Comprendre et prédire la phénologie du soja pour adapter la culture à de nouveaux environnements climatiques.

Thevathasan, N. V et Gordon, A. M. (2004). Ecology of tree intercropping systems in the North temperate region: Experiences from southern Ontario, Canada: ew visitas m Agroforestry. *Agroforestry Systems*, 61(1), 257 -268. <http://dx.doi.org/10.1023/B:AGFO.0000029003.00933.6d>

Turkington, T. K., Kuzyk, A., Dunn, R., McLaren, D., Irvine, B., Clear, R. M., & Patrick, S. K. (2004). Irrigation and plant disease management.

Uthappa, A. R., Chavan, S. B., Handa, A. K., Ram Newaj, D. K., Sridhar, K. B., & Chaturvedi, O. P. (2017). Agroforestry-A sustainable solution to address climate change challenges. *Agroforestry for Increased Production and Livelihood Security*, SK Gupta, P. Panwar, and R. Kaushal, eds. New Delhi: New India Publishing Agency, 1-22.

Veyrac-Ben Ahmed, B. (2012). *Les agriculteurs face aux sécheresses: adaptation des pratiques et impacts environnementaux: étude à travers l'exemple du bassin versant du Lemboulas (Bas-Quercy, Midi-Pyrénées)* (Doctoral dissertation, Toulouse 2).

Viaud, V., & Thomas, Z. (2019). Une réflexion sur l'état des connaissances des fonctions du bocage pour l'eau dans une perspective de mobilisation pour l'action. *Sciences Eaux Territoires*, (4), 32-37.

Vincent-Caboud, L., Peigné, J., Casagrande, M., & Silva, E. M. (2017). Overview of organic cover crop-based no-tillage technique in Europe: Farmers' practices and research challenges. *Agriculture*, 7(5), 42.

Vincent-Caboud, L., Vereecke, L., Silva, E., & Peigné, J. (2019). Cover crop effectiveness varies in cover crop-based rotational tillage organic soybean systems depending on species and environment. *Agronomy*, 9(6), 319.

Wipf, D. (2017). Les mycorhizes. Une alliance plante-champignon découverte en 1885 et encore mal connue. *In Alliance Plante-Champignons*.

8.2. Portails documentaires ou sites internet consultés

ARDEPI, Association régionale pour la maîtrise des irrigations, site internet consulté : <http://www.ardepi.fr/>

Arvalis Assolement, site internet consulté : <https://www.arvalis-infos.fr/view-26530-arvarticle.html?lang=fr&lasturl=26530&lasturlobjecttype=arvarticle>

Arvalis Densité de semis, site internet consulté : <https://www.arvalis-infos.fr/implantation-du-ma-s-quels-sont-les-peuplements-optimaux-par-groupe-de-precocite-varietale--@/view-20822-arvarticle.html>

Arvalis irrigation céréales, site internet consulté : <https://www.arvalis-infos.fr/irrigation-des-cereales-a-paille-queles-dates-de-demarrage-et-d-arr-t-pour-les-bles-et-les-orges-de-printemps--@/view-20851-arvarticle.html>

Arvalis Mélange variétal, site internet consulté : <https://www.arvalis-infos.fr/melanges-de-varietes-des-differences-rarement-significatives-@/view-30316-arvarticle.html>

Arvalis, fongicides et irrigation, site internet consulté : <https://www.arvalis-infos.fr/l-irrigation-favorise-le-mildiou-de-la-pomme-de-terre-@/view-27896-arvarticle.html>

Arvalis, lessivage des nitrates, site internet consulté ; <https://www.arvalis-infos.fr/non-l-irrigation-n-augmente-pas-le-risque-de-lessivage-du-nitrate-@/view-27860-arvarticle.html>

Arvalis, risque de verse, site internet consulté : <https://www.arvalis-infos.fr/cereales-doit-on-declencher-les-irrigations--@/view-32208-arvarticle.html>

Arvalis, 2020, Présentation PDF consultée sur internet : Outils Arvalis en lien avec la gestion de l'eau

Arvalis, ITAB. (2012). Journée technique Grandes Cultures Biologiques. La luzerne, incontournable en grande culture biologique ? <http://itab.asso.fr/downloads/jtgc2012/actes-jt-gc2012.pdf>

CACG, Compagnie d'Aménagement des Coteaux de Gascogne, (2020). Projet TASCII, Transition Agro-écologique des Systèmes de Culture Irrigués Innovants <https://www.cacg.fr/2020/07/28/webinaire-tascii/>

Chambre d'Agriculture d'Alsace, Plaquette 2019 : La silphie perfoliée https://alsace.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Grand-Est/040_Inst-Alsace/RUBR-productions-vegetales/Cultures_speciales/plaquette_silphie_2019_bd.pdf

Chambre d'Agriculture de l'Aude, 2014 : fiche de référence Lavande Officinale. https://aude.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/National/FAL_commun/publications/Occitanie/Productions_techniques/ITK-LR-LavandeOfficinale-FleursSecheesSansIrrig-CA11_2014.pdf

Chambre d'Agriculture d'Auvergne Rhône-Alpes, 2020 : Les dérobées estivales : des solutions pour consolider son autonomie fourragère et implanter ses prairies plus facilement. <https://extranet-rhone.chambres-agriculture.fr/publications/toutes-les-publications/la-publication-en->

[detail/actualites/les-derobe-es-estivales-des-solutions-pour-consolider-son-autonomie-fourragere-et-implanter-ses-pra/](#)

Chambre d'Agriculture du Cher, SAGE Yèvre-Auron, SAGE Cher amont, Établissement Public Loire. (2019). CTGQQ Cher : état des lieux Contrat Territorial de Gestion Quantitative et Qualitative des ressources en eau de la Zone de répartition des eaux du Cher. https://sage-yevre-auron.fr/wp-content/uploads/2020/03/CTGQQ_EdL_v4_07-11-2019.pdf

Chambre d'Agriculture des Landes, Résultats des expérimentations Grandes cultures 2019, Décembre 2019 : Essai irrigation par goutte à goutte enterré sur maïs. https://landes.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/National/FAL_commun/publications/Nouvelle-Aquitaine/40_experimentations2019_essai_goutte_goutte.pdf

CIRAD, Sorgho, consultation internet : <https://www.cirad.fr/nos-recherches/filieres-tropicales/sorgho/contexte-et-enjeux>

Dupraz C., (2018) Services écosystémiques rendus par l'agroforesterie dans les territoires et exploitations agricoles. Colloque Agrosys-RMT. <https://agrosys.fr/save-the-date-colloque-fonctions-ecosystemiques-des-haies-et-arbres-dans-les-territoires-agricoles/>

Ecophyto : Fiche 3 Contrôle cultural méthodes culturales – Guide pour la conception de systèmes de production fruitière économes en produits phytosanitaires. https://ecophytopic.fr/sites/default/files/Guide_ecophyto_fruits_FT3-M%C3%A9thodes%20culturales_0.pdf

Ecophytopic, site internet consulté : https://geco.ecophytopic.fr/concept/-/concept/voir/http%253A%252F%252Fwww%252Egeco%252Eecophytopic%252Efr%252Fgeco%252FConcept%252FPaillage_Sous_Le_Rang_En_Vigne

Ecophytopic, site internet consulté https://geco.ecophytopic.fr/web/guest/concept/-/concept/voir/http%253A%252F%252Fwww%252Egeco%252Eecophytopic%252Efr%252Fgeco%252FConcept%252FUtiliser_Des_Paillages_Ou_Mulchs_Sur_Le_Rang_En_Verger

ETPB Charente et Chambre d'Agriculture Charente. (2017). Etat des lieux et diagnostic du projet de territoire Aume-Couture. <http://www.fleuve-charente.net/wp-content/files/Projets-Territoire/Etat%20des%20lieux%20Diag%20AumeCouture%20VF.pdf>

ETPB Charente et Chambre d'Agriculture Charente. (2017). Stratégie et programme d'actions du projet de territoire Aume-Couture. http://www.fleuve-charente.net/wp-content/uploads/2018/07/Strategie_ProgActions-Aume-Couture-VF.pdf

Gest'eau, février 2020 : Le CTG2Q Cher, des actions concertées pour mieux s'adapter au changement climatique. http://www.gesteau.fr/sites/default/files/gesteau/content_files/document/Temoignage_CTG2Q_Cher_202002.pdf

Habets, F (2019), Barrages et réservoirs : leurs effets pervers en cas de sécheresses longues. <https://theconversation.com/barrages-et-reservoirs-leurs-effets-pervers-en-cas-de-secheresses-longues-111583>

INRAE. (2013) Des résultats originaux : la décomposition des mulch. <https://www.inrae.fr/actualites/resultats-originaux-decomposition-mulch>

Institut Français de la vigne et du vin, (2011) Effets de l'irrigation au vignoble. https://www.vignevin.com/wp-content/uploads/2019/03/Tire_a_part_EVVL2011.pdf

ITB Centre Val de Loire(2020) Optimiser la conduite de l'irrigation. Le cahier technique (112). http://www.itbfr.org/fileadmin/user_upload/PDF/Cahier-central-du-Betteravier-Francais/BF1120-ITB.pdf

ITB Loiret, site internet consulté: <http://www.itbfr.org/tous-les-articles/article/news/quelles-strategies-pour-valoriser-son-irrigation/>

ITB fongicides et irrigation, site internet consulté : <http://www.itbfr.org/tous-les-articles/article/news/adopter-les-bonnes-pratiques-dirrigation-pour-limiter-la-cercosporiose/>

Jones, C (2009). Mycorrhizal fungi - powerhouse of the soil. Evergreen Farming (08) 6272 4545. [https://www.amazingcarbon.com/PDF/JONES-MycorrhizalFungiEVERGREEN\(Sept09\).pdf](https://www.amazingcarbon.com/PDF/JONES-MycorrhizalFungiEVERGREEN(Sept09).pdf)

Liagre, F (2020). Webinaire du 13 novembre 2020. IRD Elevage - Les ressources fourragères alternatives issues de l'agroforesterie utilisables dans l'alimentation des herbivores. Chambre d'Agriculture régionale Occitanie et IDELE. <https://occitanie.chambre-agriculture.fr/publications/toutes-les-publications/la-publication-en-detail/actualites/webinaire-ird-elevage-2020-en-occitanie-les-ateliers/>

Ministère de l'Agriculture. (2019). Le volet agricole de la feuille de route pour l'économie circulaire. <https://agriculture.gouv.fr/le-volet-agricole-de-la-feuille-de-route-pour-leconomie-circulaire>

OFB, Office Français de la Biodiversité. (2019). Infographie BNPE-prélèvements en eau. <https://professionnels.ofb.fr/fr/media/156>

Peigné, J., Vincent-Cabou, L., Vian, J.F., (2019) : L'agriculture de conservation en bio, utopie ou réalité ? <https://www.agri-mutuel.com/environnement/lagriculture-de-conservation-en-grandes-cultures-bio-utopie-ou-realite/>

Peter, M. and Martin, F. (2016) Un champignon symbiotique aides les plantes en cas de sécheresse : <https://www.wsl.ch/fr/news/2016/09/un-champignon-symbiotique-aide-les-plantes-en-cas-de-secheresse.html>

Pousset,Y. (2020). Webinaire Pepit'eau. Table ronde 2 : Stocker l'eau dans le sol, améliorer la réserve utile. <https://aura.chambres-agriculture.fr/pepit/zoom-sur-pepiteau/>

SOeS, Service de l'Observation et des Statistiques, (2017). Les prélèvements d'eau douce en France ; les grands usages en 2013 et leur évolution depuis 20 ans. <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2018-10/datalab-prelevement-eau-mise-en-ligne.pdf>

Solagro, plateforme OSAE : Synthèse technique Les associations de culture ou cultures associées à visée alimentaire, site internet consulté <https://osez-agroecologie.org/cultures-associees-modalites-pratiques-de-mise-en-oeuvre>

Solagro, plateforme OSAE : Synthèse technique Enherbement de la vigne. Site internet consulté : https://osez-agroecologie.org/images/imagesCK/files/syntheses/f510_synthese-technique-enherbement-de-la-vigne.pdf

Terre Inovia, soja, site internet consulté : <https://www.terresinovia.fr/-/irriguer-le-soja-pour-regulariser-le-rendement-et-la-teneur-en-proteines-a-un-niveau-eleve>

Terre Inovia, tournesol, site internet consulté : <https://www.terresinovia.fr/-/les-vrai-faux-de-l-irrigation-du-tournesol?inheritRedirect=true&redirect=%2Frecherche%3Fq%3Dirrigation>

Terre Inovia, tournesol, site internet consulté : <https://www.terresinovia.fr/-/irriguer-le-tournesol-un-interet-accru-dans-les-sols-superficiels-et-intermediaires?inheritRedirect=true&redirect=%2Frecherche%3Fq%3Dirrigation>

Vaucluse Agricole, (2018). Irrigation goutte à goutte enterré en arboriculture : un système d'irrigation adapté à certaines situations. http://www.ardepi.fr/fileadmin/user_upload/Provence-Alpes-Cote_d_Azur/124_Eve-Ardepi/Interface/presse/arboriculture/VA_2018-04-13_GaG_enterre.pdf

8.3. Liste des entretiens « acteurs »

Nom	Poste	Structure
Abiven Floren	Conseiller Agronomie	CA Deux Sèvres
Alleto Lionel	UMR AGIR	INRAE
Balaguer Fabien	Directeur	AFA
Blanchon Julie	Direction Auvergne-Rhône-Alpes - Service Appui aux Acteurs et à la Mobilisation des Territoires	OFB
Boulet Alain	Référent Agroécologie	TRAME
Chatelon Pierre	Coordinateur Agriculture et Alimentation	OFB
Chevallier Nathalie	Chargée de mission agroécologie et espaces protégés - Direction Normandie	OFB
Ching Jade	Chargée de mission Agriculture et Marque – animatrice GIEE	PNR de la Narbonnaise
Coquio Martial	Animateur	FDGEDA 35
Debavelaere Christophe	Conseiller technique et animateur GIEE	Coopérative
Delattre Noëlie	Animatrice/Conseillère projet ABAC	BIO Hauts-de-France
Deluermoz Lucie	Conseillère Agronomie Fourrage	CA Savoie Mont Blanc
Dubreuil Nicolas	Conseiller et animateur GIEE	CIVAM BIO 66
Dugué Marine	Animatrice Projets de Territoire, Appui à la Gestion de l'Etiage.	ETPB Charente
Foucault Cloé	Cheffe de service adjoint – Direction Nouvelle Aquitaine	OFB
Frayssinhes Sandra	Conseillère Agronomie – projet AP3C	CA Aveyron
Gotanegre Gaëtan	Chargé de mission Biodiversité et Agriculture Direction Nouvelle Aquitaine	OFB
Jamin Xavier	Chargé d'opérations agricoles Vallées de l'Oise	AESN
Jourdin Alexia	Conseillère agro-environnement « Gestion de l'eau » - animatrice GIEE	CA Cher
Juvenal Thibault	Conseiller et animateur GIEE	CA Bouches du Rhône
Kaniowska Ewa	Conseillère et animatrice GIEE	CIVAM Limousin
Kourkgy Charlotte	Cheffe de projet « Hamster et Agroécologie	OFB
Lebas Justine	Chargée de mission	APAD
Lechat Gwendoline	Chargée de mission	APAD
Lesage Olivier	Conseiller et animateur GIEE	CA Nord Pas de Calais
Leurent Thimothée	Chargé d'études Gestion de la ressource	AEAG
Lobre Magali	Service Protection de la ressource	Syndicat Mixte Réseau Solidarité Eau 11
Marguerie Mathieu	Conseiller Grande Culture Bio	AGROBIO 04
Massonneau Adeline	Animatrice Projets de Territoire, Appui à la Gestion de l'Etiage.	ETPB Charente
Mazeau Lucile	Animatrice de la CLE du SAGE Allier aval	CLE du SAGE Allier aval
Millardet Lionel	Service Stratégie Surveillance Contrôle Direction de la Police et du Permis de Chasser Référent pollution diffuse	OFB

Mourreau Julien	Conseiller - Pôle Eau Quantité 17-79	CA Deux Sèvres
Noebes Valentin	Conseiller et animateur GIEE	CA Hautes-Alpes
Novak Sandra	Unité Expérimentale Fourrages, Ruminants et Environnement	INRAE
Paris André	Chargé de mission agroécologie-pollutions diffuses Direction Bourgogne Franche Comté	OFB
Pelte Thomas	Expert gestion quantitative et changement climatique	AERMC
Petitqueux Coralie	Chargée de mission irrigation -foncier	GIDA Haute Maurienne
Pinot François	Conseiller Elevage	AGROBIO Bretagne
Pinsson Laurent	Conseiller technique et animateur GIEE	Coopérative
Pitrel Marina	Chargée de mission Changement climatique et planification de l'urbanisme	AERM
Pointereau Philippe	Directeur Adjoint	Solagro
René Laurent	Chargé de missions, responsable Agriculture	AEAG
Robert Frédéric	Responsable de la plateforme	Plateforme AE Occitanie
Ronceux Aïcha	Chargée de Mission - Responsable « Évaluation et gestion des risques en systèmes agricoles »	AgroTransfert
Sagres Céline	Animatrice Captage	CA Côte d'Or
Saurin Nicolas	Directeur Unité Expérimentale de Pech Rouge	INRAE
Thépault Nolwenn	Chargée d'interventions agricoles	AEAP
Thomas Marie	Chargée de mission Agriculture	Parcs Nationaux
Trisse Olivier	Conseiller	CA Charente
Viloingt Thomas	Chargé de mission Agriculture	AELB
Zeggoud Amale	Stagiaire Gestion Quantitative de l'eau	FNAB

8.4. Questionnaire pour les entretiens « agriculteurs »

SOMMAIRE

CONTEXTE DE L'EXPLOITATION

PRATIQUES/SYSTEMES ECONOMES EN EAU ET/OU RESILIENTS VIS-A-VIS DE LA SECHERESSE

PRECISIONS SUR LES PRATIQUES D'IRRIGATION (DONNEES A RECUPERER SI POSSIBLE)

INDICATEURS ECONOMIQUES (DONNEES A RECUPERER SI POSSIBLE)

INDICATEURS ENVIRONNEMENTAUX (DONNEES A RECUPERER SI POSSIBLE)

1. CONTEXTE DE L'EXPLOITATION

Localité (région, département, commune) :

Climat (pluviométrie et températures annuelles réelles si station météo ou à titre indicatif) :

ETP :

SAU :

STH :

Types de sol (de manière précise comme dans le tableau ci-dessous ou bien à titre indicatif)

	%	Texture	Cailloux	Profondeur	RU	MO	Contraintes particulières
Sol 1							
Sol 2							
Sol 3							
Sol 4							

Enjeux sur le territoire (ZRE, PTGE, Bassins de Captage, Zones vulnérables, Natura2000...) :

Adhésion à un groupe de développement ou un collectif (GEDA, CUMA, GIEE, DEPHY...) :

Type(s) de production : Grandes Cultures, Polyculture Elevage, Elevage strict, Viticulture, Arboriculture, Maraîchage, Cultures industrielles, Autres...

Atelier animal et UGB :

Assolement moyen :

Principales rotations :

% IAE ou typologie (plaine, bocage, coteaux, montagne...) :

Travail du sol majoritaire (labour, TCS, semis direct, mixte) :

Gestion de la fertilisation azotée en moyenne (nature, fractionnement, outils de pilotage) :

Mode de production (Conventionnel, ACS, BIO...) et date de conversion :

Certification ou labels (HVE, label rouge, AOP...) et date d'obtention :

Filières principales (circuit long ou court, vente directe, atelier de transformation) :

Irrigation :

2. PRATIQUES/SYSTEMES ECONOMES EN EAU ET/OU RESILIENTS VIS-A-VIS DE LA SECHERESSE

Partie sous la forme d'une discussion, voici ci-dessous quelques questions pour guider l'échange.

Votre perception sur la fréquence et l'intensité des sécheresses, les besoins en eau d'irrigation, le ou les impacts sur votre exploitation, motivations du changement de pratiques ou systèmes et objectifs :

Quelles pratiques-systèmes mettez-vous/avez-vous mis en place ? Depuis combien d'années ? Ci-dessous quelques exemples issus de la bibliographie, il est possible d'en citer d'autres :

- Sur des équipements, matériels, technologies liés à l'irrigation ?
- Sur la plante (choix variétal, dates et densité de semis, mélanges variétaux, tailles...)
- Sur la conduite du troupeau (races, chargement, pâturage, espèces,...)
- Sur la couverture des sols (repousses, résidus, couverts, enherbement...)
- Sur les apports de matières organiques
- Sur le travail du sol
- Sur le choix de l'assolement (diversification, nouvelles cultures, cultures associées...)
- Sur les aménagements parcellaires (haies, bocages, arbres isolés, agroforesterie)

Avez-vous été / êtes-vous accompagné techniquement et/ ou financièrement ?

Par rapport à ces pratiques, avez-vous constaté des évolutions en matière de consommation d'eau ?

Pour rapport à ces pratiques, avez-vous constaté des évolutions en matière de résilience de votre système face aux sécheresses ?

Si oui, comment cela se traduit-il ? (observations ou analyse de données tels que volumes d'eau consommés, rendements, marges, RU, MO...).

Avez-vous constaté d'autres évolutions ou impacts sur votre exploitation suite à la mise en place de ces pratiques, qu'ils soient positifs ou négatifs (consommation en intrants, consommations énergétiques, difficultés techniques, investissements matériels nécessaires, évolution de la biodiversité en faune sauvage, faune du sol, végétale...) ?

Quelles solutions testez-vous ou identifiez-vous pour contrecarrer les impacts négatifs constatés ?

Quelles pratiques économes en eau ou résilientes souhaiteriez-vous mettre en place à l'avenir ?

Votre perception, à l'échelle du territoire, de la mise en œuvre de ces pratiques/systèmes économes/résilients : intérêts suscités, leviers et freins au développement...

3. PRECISIONS SUR LES PRATIQUES D'IRRIGATION (DONNEES A RECUPERER SI POSSIBLE)

Irrigation collective, individuelle ou mixte :

Nom de la structure collective :

Règles de prélèvement pour l'année et pour les nouveaux irrigants :

Sources d'irrigation (forage, cours d'eau, retenue) :

Modes d'irrigation (canon, rampe, goutte à goutte) :

Utilisation d'outils d'aide à la décision et de pilotage et conseils en irrigation :

Cultures irriguées et surfaces respectives (pour la campagne :) :

Culture	Surface irriguée	Conso m3/ha	Dose (mm et nb tours)

Historique de consommation sur les campagnes passées à l'échelle de l'exploitation :

Avez-vous un historique pour ces mêmes cultures en non irrigué ? Des choix économiques, techniques, agronomiques ou autres pour le passage en irrigué ?

Avez-vous pour une même culture, des parcelles irriguées et non irriguées ? Si oui, des raisons économiques, pédologiques ou autres raisons qui expliquent la mixité ?

Tendances de la consommation en eau (augmentation, stable, diminution). Sont-elles induites par le changement de pratiques/systèmes ? (voir partie 2).

Coût de l'investissement (montant matériel, durée et montant des amortissements) :

Charges opérationnelles euros/ha pour la campagne (comprenant l'adhésion, redevance, entretien, main d'œuvre, frais d'éventuels OAD) et tendances depuis la mise en place (stable, augmentation, diminution) :

Projets d'investissement en irrigation :

4. INDICATEURS ECONOMIQUES (DONNEES A RECUPERER SI POSSIBLE)

Données à récupérer si possible : sur plusieurs années via l’outil de gestion parcellaire ou sinon sur la dernière campagne. Si les données ne sont pas récupérables : avoir à titre indicatif les évolutions (cf. partie 2)

Rendements :

Culture	Récolte 2020	Récolte 2019	Récolte 2018	Récolte 2017	Récolte 2016

Marges brutes :

	Récolte 2020	Récolte 2019	Récolte 2018	Récolte 2017	Récolte 2016
Exploitation					

Culture	Récolte 2020	Récolte 2019	Récolte 2018	Récolte 2017	Récolte 2016

5. INDICATEURS ENVIRONNEMENTAUX (DONNEES A RECUPERER SI POSSIBLE)

Données à récupérer si possible : sur plusieurs années via l’outil de gestion parcellaire ou sinon sur la dernière campagne. Si les données ne sont pas récupérables : avoir à titre indicatif les évolutions s’il y en a sur les traitements phytosanitaires et la fertilisation azotée depuis l’adoption de la pratique/changement de systèmes (cf. partie 2).

IFT exploitation Herbicide H et Hors Herbicide HH

	Récolte 2020	Récolte 2019	Récolte 2018	Récolte 2017	Récolte 2016
IFT H					
IFT HH					

IFT culture :

Culture	Récolte 2020	Récolte 2019	Récolte 2018	Récolte 2017	Récolte 2016
	IFT H	IFT H	IFT H	IFT H	IFT H
	IFT HH	IFT HH	IFT HH	IFT HH	IFT HH
	IFT H	IFT H	IFT H	IFT H	IFT H
	IFT HH	IFT HH	IFT HH	IFT HH	IFT HH
	IFT H	IFT H	IFT H	IFT H	IFT H
	IFT HH	IFT HH	IFT HH	IFT HH	IFT HH
	IFT H	IFT H	IFT H	IFT H	IFT H
	IFT HH	IFT HH	IFT HH	IFT HH	IFT HH
	IFT H	IFT H	IFT H	IFT H	IFT H
	IFT HH	IFT HH	IFT HH	IFT HH	IFT HH

Balance globale azotée

	Récolte 2020	Récolte 2019	Récolte 2018	Récolte 2017	Récolte 2016
Exploitation					

Culture	Récolte 2020	Récolte 2019	Récolte 2018	Récolte 2017	Récolte 2016

