

AGENCE DE L'EAU
ADOUR-GARONNE

ETABLISSEMENT PUBLIC DU MINISTERE
DU DEVELOPPEMENT DURABLE

Etude pour le renforcement des actions d'économies d'eau en irrigation dans le bassin Adour-Garonne

PHASE 1

Synthèses bibliographiques :

10 ► Substitution de la culture du maïs irrigué
par d'autres cultures

Etude réalisée par l'agence de l'eau Adour-Garonne
avec la collaboration de :



Sommaire

1	Description technique et du contexte – Etat actuel	5
1.1	Présentation des exploitations irrigantes du bassin et des dynamiques actuelles d'évolution des assolements irrigués	5
1.2	Choix des cultures de « substitution » étudiées	7
1.3	Place actuelle des cultures de printemps de « substitution » au maïs irrigué sur le bassin Adour-Garonne.....	8
1.4	Place actuelle des cultures d'hiver de « substitution » au maïs irrigué sur le bassin Adour-Garonne	8
2	Les besoins en irrigation des cultures de printemps de substitution .	9
2.1	Besoins d'irrigation du soja	9
2.2	Besoins d'irrigation du sorgho	10
2.2.1	L'irrigation du sorgho en culture non prioritaire :.....	11
2.2.2	L'irrigation du sorgho en culture prioritaire	12
2.3	Besoins d'irrigation du tournesol	12
3	Les besoins en irrigation des cultures d'hiver de substitution.....	13
3.1	L'irrigation des céréales à paille	13
3.2	Besoins d'irrigation du Pois	14
3.3	L'irrigation du colza	16
4	Impacts sur l'eau (quantité)	17
4.1	Economie potentielle d'eau lors de la substitution par des cultures de printemps.....	17
4.2	Economie potentielle d'eau lors de la substitution par des cultures d'hiver.....	19
4.3	Simuler la combinaison des cultures pour évaluer les impacts sur l'eau.....	20
5	Impacts agronomiques et environnementaux	22
6	Analyse économique de l'action.....	24
6.1	Enjeux de l'analyse économique de la diversification des assolements.....	24
6.2	Comparaison de la rentabilité « culture à culture » par rapport au maïs	26
6.2.1	Comparaison de la rentabilité « culture à culture ».....	26
6.2.2	Impact de la diversification des assolements sur le coût de l'irrigation	27
6.2.3	Impact sur les coûts en main d'œuvre et l'organisation du travail	28
6.3	Analyse à l'échelle des systèmes de culture	29
6.3.1	Prise en compte des effets précédents dans le calcul de la rentabilité.....	29
6.3.2	Analyse comparée de différents systèmes de culture	29
6.4	Analyse à l'échelle du système de production.....	31
6.5	Brève analyse à l'échelle de la filière	31
6.6	Freins et leviers socio-économiques au développement des cultures de substitution	32
6.6.1	Au niveau de l'exploitation agricole	32
6.6.2	Au niveau de la filière	35
6.6.3	Les aides pour accompagner la diversification des assolements	38
6.6.4	Conclusion sur les freins et leviers	41
7	Synthèse de l'action	42
8	Bibliographie.....	44

Liste des fiches de synthèse des connaissances

Efficienc e de l'application

- AEE 1 - Développement du conseil en irrigation et outils de pilotage adaptés (logiciels, sondes...)

Efficienc e de la distribution

- AEE 2 - Equipements hydro-économ es de précision
- AEE 3 – Changement matériels : enrôleurs remplacés par pivot ou rampe
- AEE 4 - Goutte à goutte en grandes cultures et cultures industrielles
- AEE 5 - Goutte à goutte et micro-aspersion en vergers

Efficienc e du transport

- AEE 6 – Optimisation et réduction des pertes des réseaux collectifs (encart : réseau individuel)

Modification des pratiques agricoles

- AEE 7 - Dates de semis, précocité et choix des variétés
- AEE 8 - Semis direct et couverts végétaux
- AEE 9 - Agroforesterie

Assolements & systèmes économ es en eau

- AEE 10 - Substitution de culture de printemps irriguée par des cultures d'hiver ou de printemps

Note au lecteur

La fiche « action d'économie d'eau en irrigation », présentée ci-après, a pour objectif de synthétiser l'état des connaissances en matière d'économie d'eau en irrigation sur le bassin Adour-Garonne. Les divers sujets ont été répartis en 10 grands types d'actions, qui ont été traités de manière synthétique.

Les fiches ont été réalisées à partir de données publiées et mises à disposition du bureau d'études (bibliographie fournie par le comité de pilotage, complétée par les cabinets d'études), complétées par des entretiens d'acteurs. Cette synthèse n'avait pas pour objectif de produire de nouvelles références.

Les fiches représentent une étape de l'étude. La cible de cette synthèse est principalement interne et visent notamment à partager les connaissances entre les membres du comité de pilotage. Elles serviront de base à la suite du travail sur l'analyse des gisements et seront mobilisées pour la rédaction du rapport final à destination des instances de bassin.

Elles comprennent les points suivants : une description de l'action et de ses principales modalités, les économies d'eau possibles, les autres impacts agronomiques et environnementaux, les freins et leviers pour son développement, une analyse coût-efficacité et des éléments sur les potentiels de développement de l'action sur le bassin Adour-Garonne.

L'objectif de cette fiche est de faire le point sur les **économies d'eau permises par une modification des assolements** (en volume ou en décalant le besoin par rapport à la période de plus forte tension sur la ressource), et de réaliser un **bilan technique et économique de ces assolements à l'échelle de la rotation et de l'exploitation**.

L'analyse a été centrée autour de la **substitution du maïs** grain ou fourrage, principale culture irriguée sur le bassin (72% des surfaces irriguées selon le Recensement Agricole 2010), **par d'autres cultures**.

Cette évolution vers des assolements plus économes en eau peut se faire soit par substitution :

- Par d'autres cultures de printemps
- Par des cultures d'hiver

La substitution par des cultures d'hiver est celle qui permet la plus forte réduction du besoin d'irrigation, car une partie importante du cycle de la culture se fait hors période d'étiage. Cependant, cette substitution entraîne des évolutions plus fortes au niveau de l'organisation de l'exploitation et au niveau agronomique.

Cette fiche réalise tout d'abord une présentation des itinéraires techniques et des besoins d'irrigation des cultures de substitution, avant de réaliser une analyse socio-économique et l'évaluation des économies d'eau induite par une évolution des assolements. La fiche aborde également l'incidence du développement de ces cultures sur l'organisation des filières et des débouchés.

A noter que le maïs ensilage est conduit techniquement dans une même zone pédoclimatique et de la même manière - dans les grandes lignes - que le maïs grain, en particulier pour l'irrigation.

1 Description technique et du contexte – Etat actuel

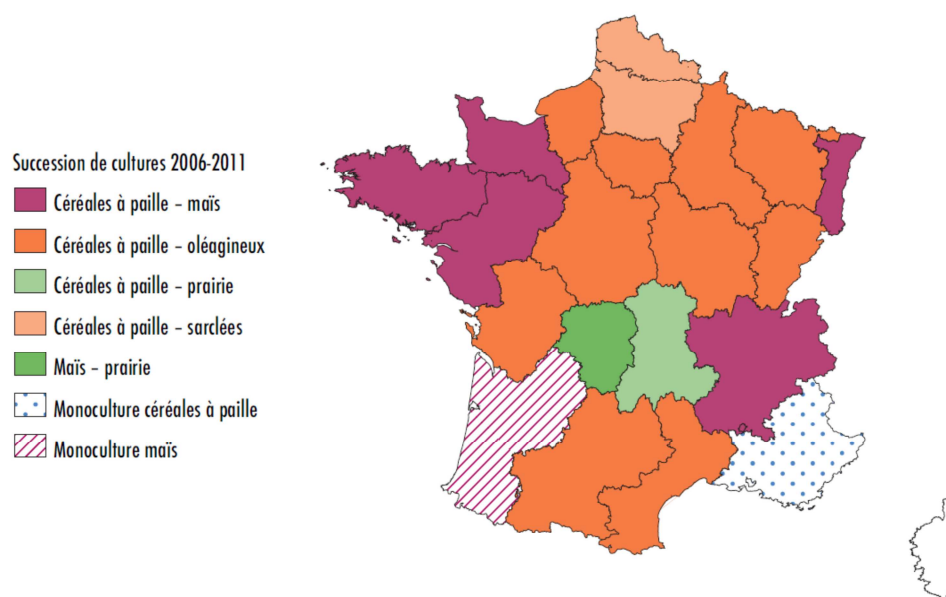
1.1 Présentation des exploitations irrigantes du bassin et des dynamiques actuelles d'évolution des assolements irrigués

Le maïs occupe une place centrale pour les exploitations irrigantes. Sur le bassin Adour-Garonne et selon le Recensement Agricole de 2010 (cf. Tableau 1) :

- 60% de la surface en maïs grain ou semences a été irrigué
- 42% des exploitations ayant du maïs grain ou semences l'ont irrigué
- Sur ces exploitations irriguant du maïs : 85% des surfaces en maïs grain sont irriguées et le maïs irrigué représente 78% de la surface irriguée de l'exploitation.

Selon l'enquête « pratiques culturales de 2011 », en Aquitaine, la rotation majoritaire est la monoculture de maïs, tandis qu'en Poitou-Charentes et Midi-Pyrénées, les rotations dominantes sont basées sur les céréales à pailles et les oléagineux (voir Figure 1). Cependant, 48 % des surfaces de maïs grain sont en monoculture de maïs en Midi-Pyrénées et plus du quart des surfaces en Poitou-Charentes. Il n'existe pas de données plus récentes pour déterminer dans quelles mesures ces rotations ont évolué plus récemment.

Figure 1 : Principale rotation dans les régions françaises entre 2006 et 2011



Source : Agreste - Enquêtes pratiques culturales 2011¹

Les exploitations en grandes cultures (1) ont donc une base « maïs » irriguée plus ou moins accentuée selon les zones géographiques, mais elles gardent généralement un assolement diversifié à l'échelle de l'exploitation. Par exemple, en 2010, les exploitations de **grandes cultures n'irriguant que du maïs** (grain ou semences) ont une proportion de maïs dans leur SAU en moyenne de 51% en Aquitaine, de 33% en Midi-Pyrénées et de 26% en Poitou-Charentes. Le maïs est donc déjà très fréquemment associé dans l'assolement et la rotation à d'autres céréales et oléo-protéagineux.

¹ http://www.agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/dossier21_rotation.pdf

Le graphique ci-après (cf. Figure 2) met également en évidence une nette diminution des surfaces en maïs grain irriguées entre 2000 et 2015 (-22%), et une stabilité du maïs non irrigué, à l'échelle des deux nouvelles régions du bassin Adour-Garonne (Aquitaine, Poitou-Charentes et Limousin, et Languedoc-Roussillon- Midi-Pyrénées). Quand au maïs semences, la surface fluctue d'une année à l'autre selon les contrats des semenciers, avec une légère tendance à la hausse (40 000 ha en moyenne sur les 4 dernières années, et 30 000 ha au début des années 2000).

Il existe donc d'ores et déjà une dynamique d'évolution des assolements qui semble s'orienter vers une diminution du maïs dans le Sud-Ouest. Il serait nécessaire d'avoir une analyse plus fine des données statistiques annuelles d'Agreste pour mieux comprendre la dynamique existante des divers territoires, et faire le lien avec les évolutions des prélèvements d'eau pour l'irrigation.

Pour le maïs grain, les statistiques agricoles annuelles permettent de suivre l'évolution dans le temps des rendements du maïs irrigué et du maïs en sec. Les rendements moyens (cf.

Figure 3) des régions ALPC et LRMP sur la période 2000-2015 sont respectivement de 101 q/ha et de 73 q/ha, soit un écart de 28 q/ha. Il est à noter que les statistiques agricoles ne différencient pas les conduites d'irrigation de type « bien pilotée » ou « mal optimisée », et regroupent l'ensemble.

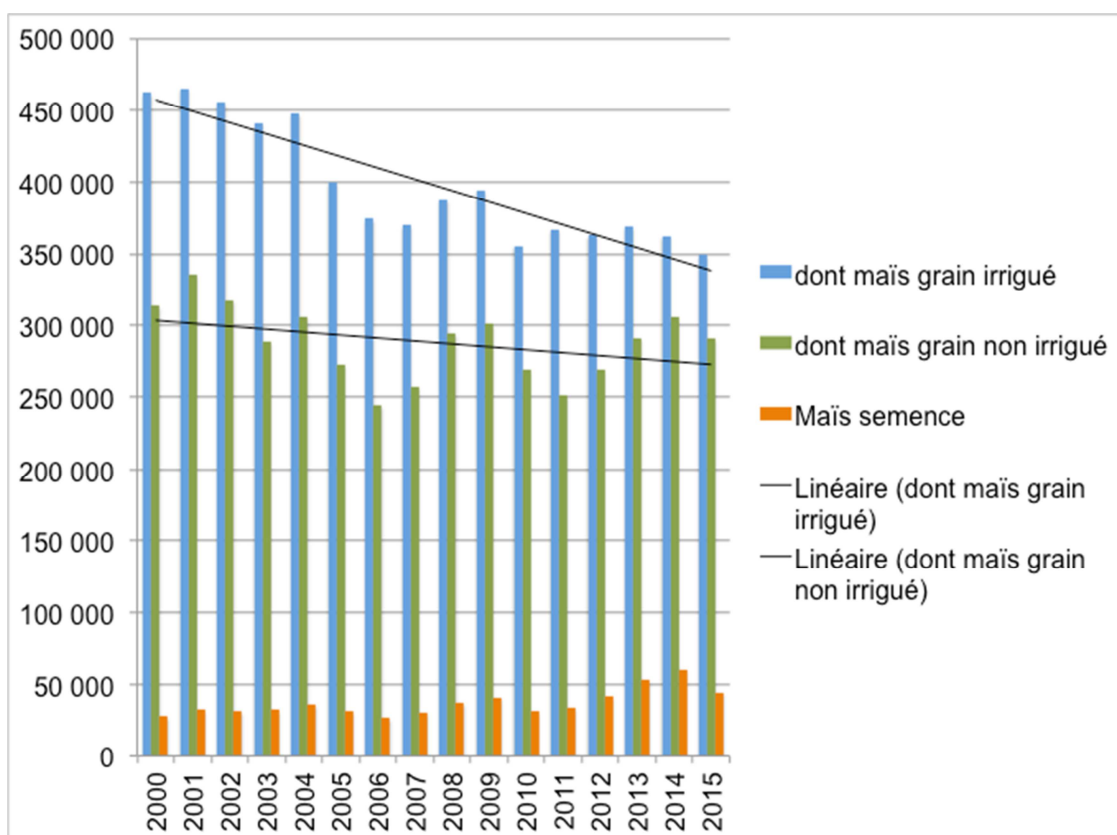


Figure 2 : Evolution de la surface (en ha) de maïs grain irrigué et non irrigué et du maïs semences dans les deux régions ALPC et LRMP depuis 2000 (D'après Agreste, SAA)

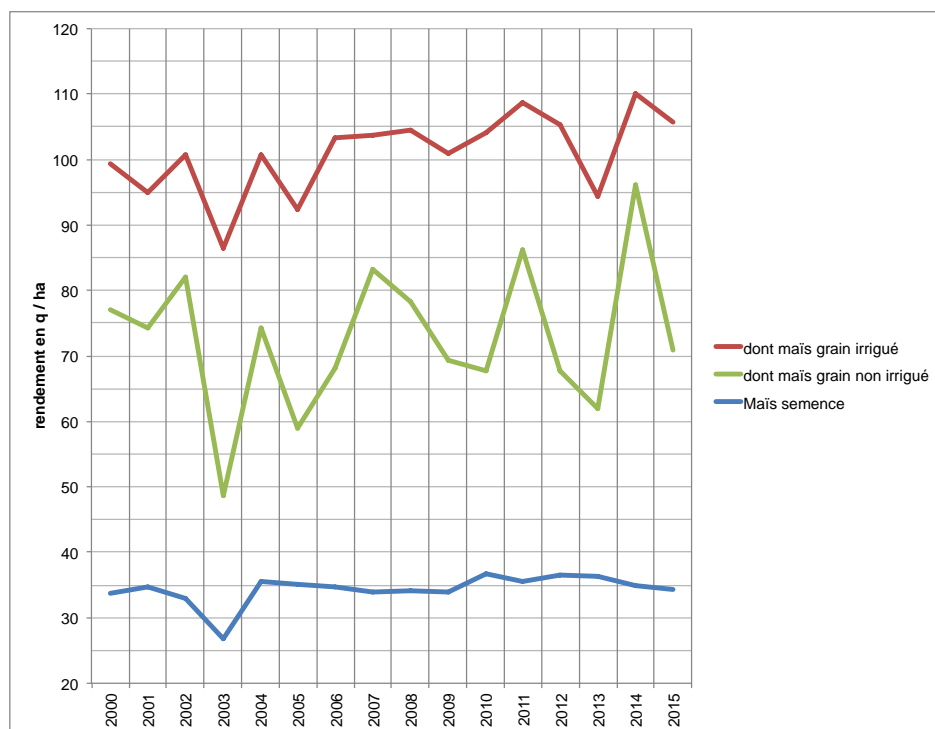


Figure 3 Evolution des rendements du maïs grain irrigué, non irrigué et semences sur le Sud-Ouest sur la période 2000-2015 (Données : Agreste, SAA)

1.2 Choix des cultures de « substitution » étudiées

Dans le cadre de cette étude, il n'est pas possible de traiter de toutes les substitutions possibles de cultures entre elles. Les cultures de substitution étudiées ici ont été ciblées sur la base des principes suivants :

- **Cultures de printemps** : soja, tournesol, sorgho et pois (d'hiver ou de printemps)

Ces cultures ont été retenues car elles sont déjà en place sur le bassin, parfois irriguées par les agriculteurs et parce qu'elles restent dans le champ des « grandes cultures classiques », avec des volumes importants mis en marché.

Les autres cultures de printemps de substitution envisageables peuvent être des oléagineux et protéagineux (féverole, lupin doux et autres légumes secs (par exemple : haricots, pois chiches, lentilles), des cultures industrielles (carottes, haricots verts, maïs doux, maïs pop corn ...), des semences (céréalières, fourragères ou potagères), ... Ces cultures sont moins développées aujourd'hui sur le bassin. Certaines sont des cultures à « haute valeur ajoutée », avec des marchés de niche liés à des débouchés spécifiques, parfois locaux. Face à leur diversité, et parfois leur spécialisation locale, nous n'avons pas centré notre synthèse sur ces cultures.

- **Cultures d'hiver** : le blé tendre, le blé dur, l'orge de brasserie et le colza

Les cultures d'hiver qui peuvent potentiellement se substituer au maïs irrigué sur le bassin Adour-Garonne sont principalement les céréales d'hiver et le colza. Ces cultures sont déjà largement existantes sur le bassin et dans une grande partie des exploitations agricoles de polyculture avec ou sans élevage. Il ne s'agit pas de cultures innovantes. La transformation et le stockage de ces cultures sont déjà structurés dans la plupart des territoires du bassin.

La substitution par des prairies temporaires ou artificielles (dont la luzerne) ou par des cultures industrielles d'hiver n'a pas été traitée dans cette fiche. La modification des surfaces fourragères engendre des évolutions sur le système d'alimentation des animaux qui ne peuvent pas être analysées dans le cadre de notre étude.

A noter également que les couverts végétaux ne sont pas considérés comme une substitution de cultures car ils s'insèrent dans la succession de cultures sur les parcelles, avec des destinations diverses (exportés des parcelles et récoltés pour les animaux ou non récoltés et détruits chimiquement, naturellement (gel) ou mécaniquement) selon les exploitations et leur cadre administratif et réglementaire (CIPAN, obligation PAC - BCAE, ...)

1.3 Place actuelle des cultures de printemps de « substitution » au maïs irrigué sur le bassin Adour-Garonne

Les cultures de soja, de sorgho et de tournesol sont partiellement irriguées sur les deux nouvelles régions du bassin Adour-Garonne, mais le niveau d'importance de ces cultures irriguées reste toutefois nettement plus bas que le maïs.

Le soja irrigué représentait en 2010 (avant son développement récent qui a vu doubler sa surface en France et dans le sud-Ouest) 20 000 ha, le sorgho irrigué 4 700 ha et le tournesol irrigué 11 903 ha.

A noter que le soja connaît un regain d'intérêt ces dernières années : les surfaces de soja ont progressé 75 % en 2014 et de 30 % en 2015, passant ainsi de 50 000 ha en France en 2010 à 76 000 ha en 2014 et 101 000 ha en 2015 (Agreste, SAA 2015). Cette augmentation s'explique notamment par la modification des aides de la PAC pour la période 2014-2020 et de la mise en œuvre du plan protéine détaillée dans le §6.6.3.

D'après le RA 2010, ces cultures de printemps peuvent être des cultures irriguées, la part des exploitations ayant cette culture et qui l'irrigue est de l'ordre de 60 % pour le soja, 17 % pour le sorgho et 5 % pour le tournesol. Les exploitations qui irriguent ces cultures ont plutôt tendance à en irriguer une grande proportion, mais pas la totalité. En effet, pour les exploitations irriguant ces cultures, 90 % des surfaces du soja sont irriguées, 83 % pour le sorgho, et 60 % pour le tournesol. Le recours à l'irrigation pour ces cultures s'explique notamment par la présence des équipements d'irrigation et de la ressource en eau et le gain - ou la sécurisation - du rendement.

L'existence de débouchés organisés par la filière est toutefois le principal moteur à la présence de ces cultures sur l'exploitation.

1.4 Place actuelle des cultures d'hiver de « substitution » au maïs irrigué sur le bassin Adour-Garonne

D'après le RA 2010, sur le bassin Adour-Garonne, environ 13 000 ha de céréales à paille (soit 1,4%) ont été irrigués en 2010 (cf. Tableau 7), en particulier dans la région Poitou-Charentes. Il s'agit surtout de blé tendre, de blé dur et d'orge de brasserie.

Près de 6 000 ha de blé tendre ont été irrigués en 2010 sur le bassin Adour-Garonne :

- 1% des exploitations (soit 370) du bassin Adour-Garonne qui ont du blé tendre l'ont irrigué (16 ha en moyenne)

- Pour ces exploitations, 50% de la surface en blé tendre a été irriguée et le blé tendre a représenté environ 25% des surfaces irriguées.

Environ 4500 ha de blé dur ont été irrigués en 2010 sur le bassin :

- 4% des exploitations qui ont du blé dur l'ont irrigué (soit 310 exploitations et 15 ha en moyenne)
- Pour ces exploitations, 65% de leur surface de blé dur a été irriguée et le blé dur a représenté 26% des surfaces irriguées de ces exploitations.

Pour les autres céréales à paille, dont l'orge de brasserie, la surface irriguée a été plus faible : 2 600 ha. L'essentiel de ces surfaces et exploitations est sur la partie « Poitou-Charentes » du bassin Adour-Garonne.

Au total, pour l'année 2010, l'irrigation des céréales à paille est restée faible et peu fréquente, mais c'est quand même une pratique existante dans le bassin Adour-Garonne. A noter qu'elle est nettement plus fréquente sur les régions plus au Nord : par exemple, en Loire-Bretagne, il y a eu plus de 140 000 ha irrigués de céréales à paille (soit 5,8% des surfaces ; la moitié est du blé tendre), et 67 000 ha en Seine-Normandie (2,8 % des surfaces). L'irrigation de ces cultures est en augmentation depuis le RA 2000², et on peut s'attendre à suivre une évolution de ce type sur le bassin Adour-Garonne.

Le colza est peu présent et peu irrigué en 2010 sur le bassin Adour-Garonne : 144 exploitations (2% de celles qui en ont) ont irrigué environ 1 200 ha soit 90 % de leur colza, sur un total de près de 80 000 ha.

2 Les besoins en irrigation des cultures de printemps de substitution

Ce chapitre présente les besoins en irrigation des différentes cultures de substitution étudiées. Les comparaisons en terme d'économies d'eau de « culture à culture » avec le maïs et à l'échelle de la rotation sont réalisées dans les chapitres 3 et 4.

2.1 Besoins d'irrigation du soja

Au niveau national (RA 2010), 51% (soit env. 25 000 ha) des surfaces de soja en 2010 ont été irriguées au moins une fois tandis qu'au niveau du bassin Adour-Garonne, 20 700 ha sur les 31 700 ha de soja ont été irriguées, soit un taux d'irrigation des surfaces de soja de 66%. En Adour-Garonne, en 2010, 63% des exploitations qui ont du soja l'ont irrigué à hauteur de 91% de leurs surfaces de soja.

Le soja est une culture usuelle dans les assolements des céréaliers du Sud-ouest, et plus spécifiquement en système de grande culture biologique. Il se sème en général dans le sud-ouest de mi-avril à mi-mai le plus souvent, et parfois jusqu'en juin (voire jusqu'à mi-juillet dans le cas des cultures de type dérobé ou en double culture) dans tout type de sol en évitant les sols trop calcaires et les parcelles à fort risque d'enherbement au printemps (2). Les variétés sont classées en groupes de précocité avec des variétés type précoces ou

² ce qui peut peut-être aussi s'expliquer par un effet « année ».

tardives. La récolte se déroule de fin septembre à mi-octobre, permettant des semis de céréales d'hiver ensuite.

D'après Terres Inovia (2), les rendements possibles vont couramment jusqu'à 35-40 q/ha avec irrigation, et en l'absence d'irrigation, de 15 à 30 q/ha selon les années. Les besoins en eau du soja sont relativement importants, ce qui justifie en général de l'irrigation, sauf dans des sols profonds à très profonds dans lesquels des rendements de 20 à 25 q/ha sont possibles sans irrigation. Les besoins d'irrigation sont particulièrement importants durant la floraison et jusqu'au début maturité. Le début de l'irrigation est placé en début de floraison, soit de mi-juin à mi-juillet selon la date de semis, le type de sol et le climat de l'année. En Adour-Garonne, les apports d'eau par l'irrigation pour obtenir le rendement potentiel des variétés sont de 150 à 250 mm en sols superficiels et de 50 à 150 mm en sols profonds selon les types de sols et les années climatiques, soit suivant les cas de 2/3 tours à 7/8 tours d'eau par campagne.

Phases de sensibilité du soja à la contrainte hydrique

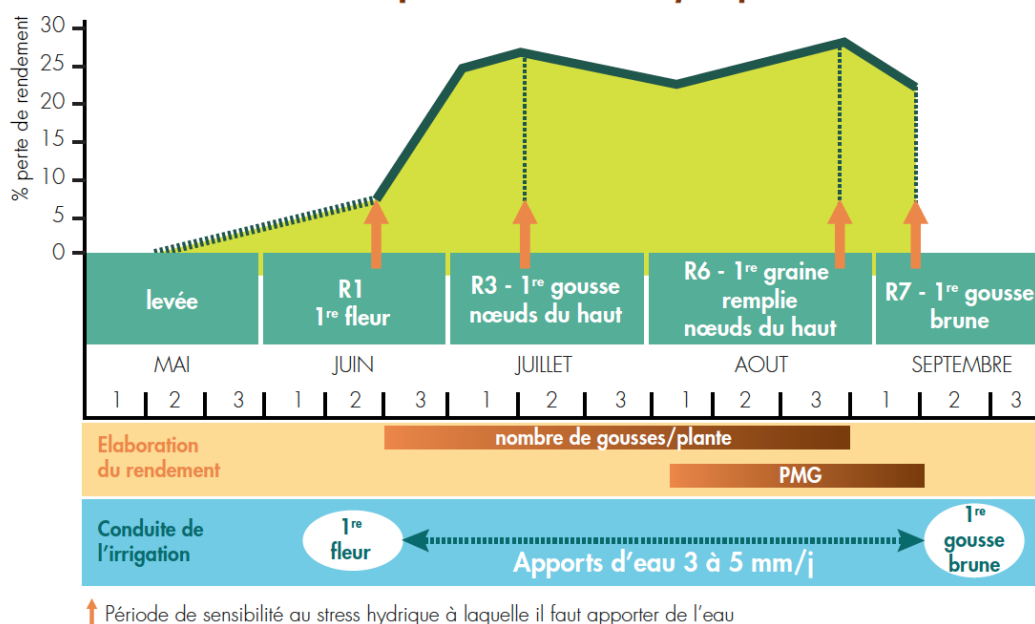


Figure 4 : Sensibilité du soja au stress hydrique et irrigation (2)

L'irrigation est arrêtée trois semaines avant récolte, au stade « R7 » de début maturation (premières gousses brunes et mûres), soit vers le 10-15 septembre. Ce dernier apport est important car il permet d'améliorer la teneur en protéines des graines et le rendement. Des outils spécifiques d'aide au pilotage de l'irrigation existent, tels que IRRI-Soja® pour positionner au mieux les tours d'eau. Selon les calendriers culturaux de chacune des cultures, les apports sur soja en août et septembre peuvent être plus importants que sur maïs.

2.2 Besoins d'irrigation du sorgho

Le sorgho est une culture peu développée en France : 46 000 ha dont 25 000 ha environ en 2010 sur le bassin Adour-Garonne (RA 2010). Le taux d'irrigation est faible en Adour-Garonne : 18% des surfaces sont irriguées (< 5 000 ha), et pour ceux qui irriguent (17%

des exploitations en ayant), 83% de leur surface de sorgho a été irriguée au moins une fois en 2010.

Le sorgho est une culture de printemps très bien connue pour sa résistance au stress hydrique. Cependant, l'irrigation permet de régulariser le rendement et atteindre le potentiel des variétés. Des différences de rendement de l'ordre de 40 q/ha sont obtenues entre des cultures irriguées et des conduites en sec (3), pour un rendement en irrigué de l'ordre de 100 q/ha (4).

Le sorgho est semé fin avril – début mai pour une récolte courant octobre selon les précocités des variétés.

La période très sensible au manque d'eau se situe à partir du gonflement jusqu'à la floraison. Usuellement, cela correspond au mois de juillet. Avant cette période, du stade 8 feuilles au gonflement, le sorgho est sensible.

La stratégie d'irrigation est fonction de la disponibilité en eau et de celle du matériel d'irrigation. Elle diffère selon que le sorgho est une culture irriguée prioritairement ou non prioritairement. Ceci en fait une culture « souple » vis-à-vis des possibilités d'irrigation de l'exploitation.

Stades du Sorgho	8 feuilles	Gonflement	Epiaison	Grain laiteux et maturité
Sensibilité au stress hydrique	Sensible	Très sensible	Très sensible	Peu sensible
Sorgho non prioritaire (selon sols)	+	Irrigation +++	+	
Sorgho prioritaire	Irrigation	Irrigation	Irrigation	Irrigation
Mois indicatifs	Début juillet	mi-juillet	Fin juillet	Début août

Tableau 1 : Stades culturaux du sorgho et besoins d'irrigation (3)

2.2.1 L'irrigation du sorgho en culture non prioritaire :

Lorsque le sorgho n'est pas la culture prioritaire, l'objectif est de l'irriguer 1 à 3 fois maximum, l'irrigation étant prioritairement dédiée aux autres cultures irriguées (maïs, soja,...). La dose totale apportée sera de l'ordre de 60 à 100 mm d'eau. On cherche alors à positionner les doses d'irrigation pour une efficacité optimale de celle-ci :

- si une seule irrigation est possible : au stade gonflement ou avant au stade 9 feuilles ;
- si deux irrigations sont possibles : au gonflement et selon le sol soit avant (stade 10 feuilles en sol superficiel) soit après (stade épiaison-floraison en sol moyen à profond) ;
- si trois irrigations sont possibles : au stade 10 feuilles, au gonflement et à l'épiaison – floraison.

- En cas de pluviométrie locale significative (20 mm), les apports pourront être décalés.

Avec 3 irrigations, le potentiel de rendement peut être atteint selon les sols de 5 années sur 10 à 9 années sur 10.

2.2.2 L'irrigation du sorgho en culture prioritaire

Lorsque le sorgho est en culture prioritaire, l'objectif est d'atteindre le potentiel de rendement des variétés de sorgho. La conduite de l'irrigation consiste à apporter environ 4 (voire 5), tours d'eau de 30 à 35 mm, soit 1 à 4 irrigations supplémentaires comparativement à la conduite en culture non prioritaire.

L'apport total d'eau en sorgho est donc très variable selon les stratégies, les ressources et le type de sol et le climat de l'année : de 70 mm à 150 mm dans le sud-ouest.

2.3 Besoins d'irrigation du tournesol

Le tournesol est une culture historique et largement développée dans le sud de la France. En 2010, il y avait plus de 23 000 exploitations qui cultivaient un peu plus de 360 000 ha de tournesol en Adour-Garonne. Cette culture est traditionnellement peu irriguée : seules 5% des exploitations (1200 exploitations) irriguent 60% de leur tournesol, soit environ 12 000 ha irrigués en 2010.

Le tournesol est semé généralement de fin mars à juin selon la précocité des variétés et les sols, pour une récolte en septembre (selon variétés et dates de semis). En cas de double culture (culture en dérobée après une culture d'hiver), le semis est possible jusqu'à début juillet avec des variétés précoces et très précoces. En cas de pluviométrie insuffisante après le semis de la culture dérobée, il est possible d'effectuer une ou deux irrigations pour favoriser et homogénéiser la levée.

Le tournesol est une culture relativement tolérante aux conditions sèches. Son système racinaire lui permet d'exploiter les horizons profonds. Cependant, du stade « début floraison » (60 jours après semis) à la fin du remplissage des graines (120 jours env. après semis) soit sur 2 mois (environ mi-juin à mi-août selon semis), le tournesol a besoin de 230 mm d'eau pour assurer un rendement de 30 q/ha, apportés par le sol, la pluie ou l'irrigation. Les déficits hydriques pendant la floraison ou le remplissage des graines peuvent induire des réductions de rendement et de teneur en huile des graines. L'irrigation est décidée selon le développement de la culture au stade « bouton » (fermeture ou non des interlignes de semis et la réserve hydrique du sol).

Le tournesol valorise bien les faibles apports d'eau en particulier pour les cultures dont le développement végétatif au stade « bouton 4-5 cm » est faible (5). Des irrigations de 1 à 3 tours (soit de 30 à 120 mm) bien positionnées permettent un rendement supplémentaire d'environ 8-10 q/ha (soit +30 à 40% env.) et +2 à +4 points de teneur en huile (+5 à 10%).

Selon la disponibilité en eau de l'exploitation (si le contexte local est restrictif) et l'état du développement végétatif de la culture au stade « bouton » (développement faible à modéré), les apports d'irrigation seront positionnés d'abord avant la floraison puis à la fin de la floraison. Eventuellement, un dernier apport 10 jours après le stade « fin floraison » peut être ajouté. Si le développement au stade « bouton » est exubérant, il ne faut pas pousser le développement. Les irrigations seront réduites au maximum à deux et positionnées différemment (une à la fin floraison et une 10 jours après).

Pour limiter les problèmes sanitaires des plantes, il faut privilégier des apports assez conséquents (30 à 40 mm) et espacés aux apports faibles et fréquents. Les apports doivent être décalés avec la pluviométrie locale, tout en évitant un apport d'irrigation en pleine floraison (développement du sclérotinia du capitule si le temps est humide).

En résumé, les apports d'irrigation, s'ils sont décidés, sont généralement centrés sur juillet et début août, avec 1 à 3 apports au maximum.

Dans le cas d'une culture dérobée, selon sa date de semis, la disponibilité de la ressource en eau et la pluviométrie, les apports d'irrigation sont souvent nécessaires pour la levée et par la suite seront généralement centrés sur août et début septembre.

3 Les besoins en irrigation des cultures d'hiver de substitution

3.1 L'irrigation des céréales à paille

Dans nos régions du sud-ouest, d'après les entretiens d'acteurs et d'agriculteurs, la mise en place (création) d'une installation d'irrigation n'est pas motivée pour l'instant par l'irrigation des céréales d'hiver ou du colza. La possibilité d'irriguer ces cultures est offerte par la présence de ces matériels sur l'exploitation. C'est cette disponibilité physique, combinée avec celle de la ressource en eau et de l'évaluation de l'intérêt d'irriguer, qui induit le passage à l'acte d'irriguer la culture.

Les besoins d'irrigation des céréales à paille sont ciblés sur les principales périodes de stress hydrique. La sensibilité au stress hydrique des céréales à paille (6) est forte du stade montaison (F1p) au stade remplissage – maturation des grains, soit pour nos régions du sud-ouest de mi-avril à début juin.

A cette période, la consommation cumulée d'eau (pour un blé à objectif de rendement de 10 t/ha) est d'environ 450 mm, les 2/3 étant consommés entre le stade « 2 nœuds » et le stade « grain laiteux (GL) » (1^{ère} partie du remplissage des grains).

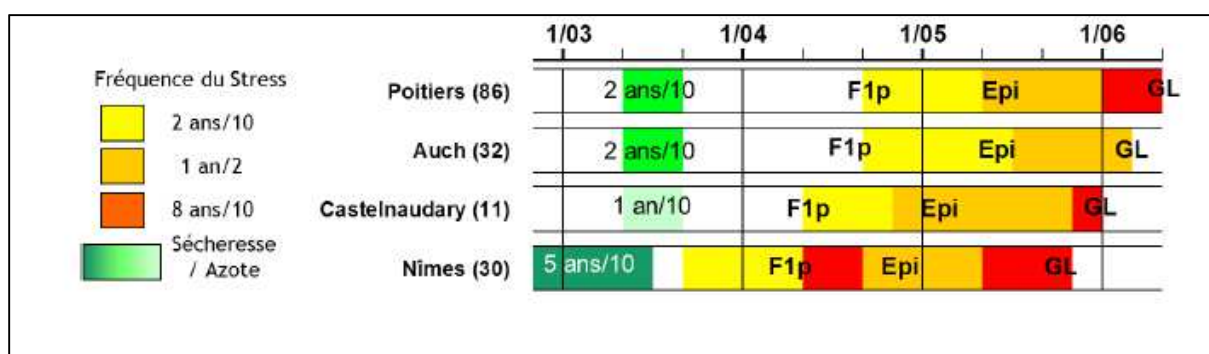


Figure 5 : Périodes et fréquences de stress hydrique pour les céréales à paille selon leurs stades de cultures et pour quelques stations du sud de la France (6)

D'après Arvalis, le manque d'eau (cf Figure 5) est fréquent 1 année sur 2 à partir du stade « épiaison » pour un sol de réserve utile moyenne (RU 120 mm). Le manque d'eau est particulièrement fréquent (8 années /10 à Poitiers ou Castelnaudary) en fin de cycle au stade « grain laiteux » entre fin mai et début juin.

L'irrigation d'appui consiste généralement à 1 apport en sol profond et 2 apports en sols superficiels. Le déclenchement de la première irrigation est décidé selon les mesures des sondes tensiométriques ou selon le résultat du bilan hydrique.

Un 1^{er} apport peut éventuellement être effectué en cas de période de sécheresse précoce ne permettant pas l'absorption de l'azote apporté au stade « épi 1 cm » (courant mars).

Les irrigations suivantes sont déclenchées selon l'atteinte de seuil du bilan hydrique ou le suivi des sondes tensiométriques, ou sur un nombre de jours sans pluie depuis la précédente irrigation ou pluie conséquente.

Les déficits hydriques étant relativement fréquents sous nos régions, sur des stades impactant le rendement de la culture, les outils de pilotage individuel ou collectif (cf. fiche AEE1) sont particulièrement utiles, nécessaires et recommandés. Les sondes tensiométriques ne sont pas toujours utilisables car le dessèchement du sol peut dépasser les limites de fonctionnement de ces sondes. La méthode Irré-Lis®, proposée par Arvalis sur Internet, permet maintenant de calculer le bilan hydrique sur blé tendre, blé dur et orge de printemps. La méthode Irrinov® propose quant à elle des seuils tensiométriques de suivi de l'état de la réserve en eau du sol. Enfin, dans les zones concernées, les bulletins collectifs d'irrigation amènent une information sur l'utilité de démarrer l'irrigation ou d'attendre. Certains organismes peuvent aussi émettre des messages d'avertissement (ARVALIS sur son site Internet) sur la date de démarrage.

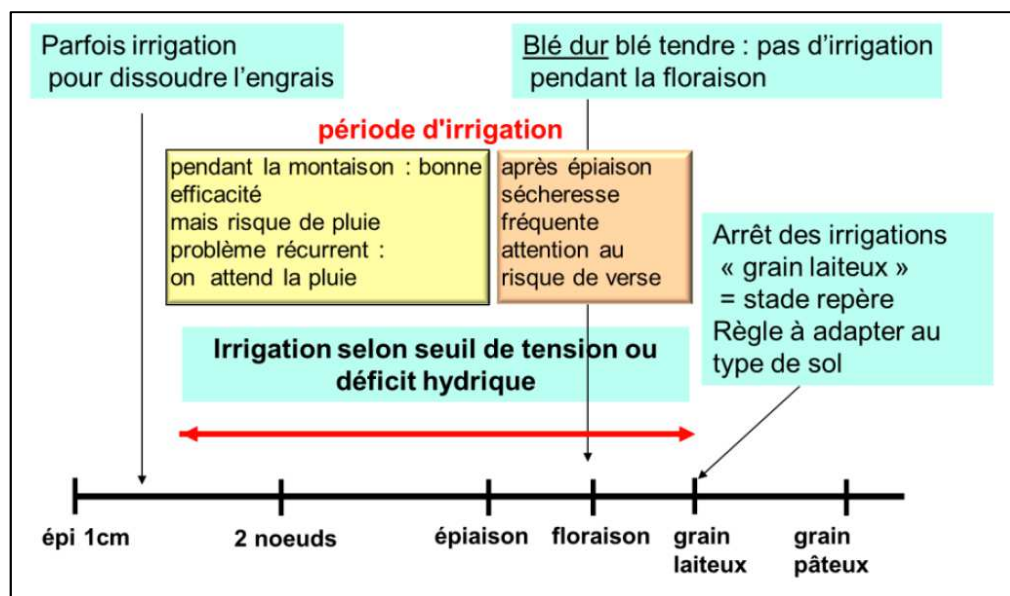


Figure 6 : Calendrier d'irrigation possibles des céréales à paille (source : (6))

3.2 Besoins d'irrigation du Pois

Le pois est une culture qui peut se semer de l'automne jusqu'en fin d'hiver, du point de vue climatique dans tout le bassin Adour-Garonne (7). Les sols argileux lourds et les limons battants sont peu adaptés à la culture du pois car ils sont plus sensibles au tassement qui limite la mise en place des racines. En cas de pluie abondante en hiver, ces sols se gorgent d'eau et la plante s'asphyxie. Ainsi, la culture du pois est limitée sur les sols de Midi-Pyrénées, souvent argileux ou battants. C'est moins le cas dans les autres régions du bassin Adour-Garonne.

Le pois est une culture sensible aux maladies, mais en tant que légumineuse, elle présente par ailleurs beaucoup d'avantages dont la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique et les restitutions d'azote pour les cultures suivantes.

Généralement, dans le sud-ouest, le pois d'hiver est semé du 15 novembre au 15 décembre, tandis que le pois de printemps est semé du 10 décembre au 20 février. De nombreuses variétés de pois sont disponibles dans ces deux types. La récolte se déroule de mi-juin à fin juin / début juillet.

Les besoins en eau du pois sont plutôt faibles car le cycle de la culture est court : ils sont de l'ordre de 300 mm sur la totalité du cycle, dont 70 mm du stade 7 feuilles à début floraison, 80 mm pendant la floraison et 150 mm après la floraison jusqu'à la maturité.



Figure 7 : Stade culturaux du pois (Terres Innovia, 2015)

L'irrigation du pois permet de prolonger la période de floraison et de favoriser la mise en place des étages fructifères supplémentaires, augmentant donc le rendement de la culture. Le stress hydrique arrête prématurément la floraison et diminue donc la mise en place d'étages fructifères et le nombre de graines. La période de floraison dure environ 3 semaines de fin avril à début juin selon les variétés et les types hiver / printemps.

L'irrigation se raisonne en fonction du type de sol :

- En sol à faible réserve hydrique : irrigation de 2 à 3 passages de 30 mm chacun, étalée sur 5 à 6 semaines. Les apports d'eau sont bien valorisés du début de la floraison jusqu'à ce que les dernières gousses aient formé leurs graines ;
- En sols profonds (limons ou bonnes groies) : irrigation de 1 à 2 apports de 30 mm chacun suivant l'intensité du déficit hydrique, étalée sur 3 semaines, de la mi-floraison jusqu'à la fin floraison plus 8-10 jours.
- En sols superficiels, le gain de rendement global s'élève à 15-20 q/ha avec 2 ou 3 tours d'eau bien positionnés. Le pois d'hiver nécessite à 1 tour d'eau de moins que le pois de printemps.

Des périodes d'interdiction d'irrigation sont établies ; avant la floraison et après le stade limite d'avortement.

Tableau 2 : Stades culturaux du pois et besoins d'irrigation (7)

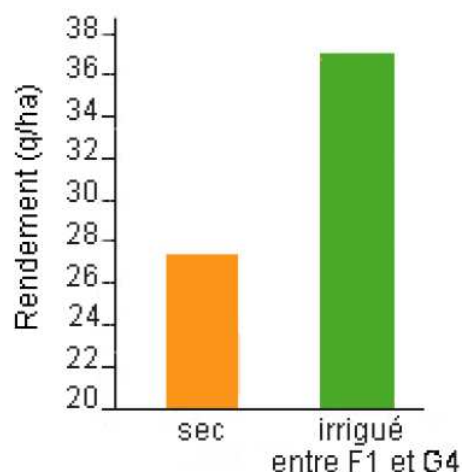
Stade du pois	8 feuilles	Début floraison	FSLA*	Maturité
Sensibilité au stress hydrique	Moyenne	Forte à très forte	Forte à très forte	Faible
Sols superficiels	Irrigation	Irrigation	Irrigation	
Sols profonds		Irrigation	Irrigation	
Mois indicatifs pour pois d'hiver		Fin avril	20 mai	
Mois indicatifs pour pois de printemps		15-20 mai	5 juin	

* FSLA : fin de stade limite d'avortement

3.3 L'irrigation du colza

Le colza n'a généralement pas besoin d'irrigation dans le sud-ouest lors de son cycle végétatif qui se déroule durant des périodes où la pluviométrie est compatible avec ses besoins. Les besoins d'irrigation dans le sud-ouest sont plutôt en tout début de cycle, pour aider les graines à germer et à s'implanter. Le semis se tenant généralement autour de fin août / début septembre sur le bassin Adour-Garonne, les sols secs doivent parfois être irrigués pour permettre une levée assez rapide et homogène de la parcelle. Lorsque les parcelles sont irrigables, un tour d'eau est donc parfois nécessaire en l'absence de pluie sur les sols argileux. Pour les sols limoneux battants, étant donné le besoin de finesse de la préparation du sol pour semer ces petites graines, l'irrigation n'est pas conseillée après le semis, mais plutôt avant la fin de la préparation du sol (8).

Les besoins en eau du colza sont importants aussi de la floraison (début : stade F1) au grossissement des graines. En cas de déficit de pluviométrie engendrant un stress hydrique marqué durant ces stades, et en particulier sur des sols à faible réserve hydrique, un apport d'irrigation de l'ordre de 100 mm permet un gain de rendement de 8 q/ha et de 1,5 à 2 points d'huile (8) (9). D'après les essais, en cas de stress hydrique marqué, l'apport d'eau par l'irrigation entre les stades « début floraison » et G4 (« siliques bosselées ») est bien valorisé.



Source : essais Terres Inovia réalisés dans le 69, 34, 31, 18

Figure 8 : Impact de l'irrigation du colza sur le rendement (8)

4 Impacts sur l'eau (quantité)

La substitution du maïs par d'autres cultures de printemps ou par des cultures d'hiver impacte la consommation en eau d'irrigation ainsi que les périodes de prélèvement sur l'exploitation. Les cultures de substitution évoquées ici engendrent une diminution des besoins en irrigation.

Dans cette partie, nous n'évoquerons que les économies d'eau envisageables de culture à culture. Cette approche vise à illustrer les économies potentielles d'eau d'irrigation et les périodes indicatives de prélèvement.

Des écarts de consommation d'eau des assolements seront donnés à titre d'exemple (cf. ANNEXE 3) à partir de résultats de simulation d'assolement ou de programme d'expérimentations et de recherche, en mettant en regard les résultats économiques d'exploitation.

4.1 Economie potentielle d'eau lors de la substitution par des cultures de printemps

Les économies d'eau en irrigation des substitutions du maïs par des cultures de printemps dépendent fortement des conditions locales et des sols. Le maïs grain est une culture de printemps dont les besoins en irrigation sont parmi les plus élevés pour atteindre le potentiel de rendement des variétés. N'ayant pas pu obtenir, s'ils existent, des tableaux des apports moyens en irrigation des cultures selon les types de sols et grandes zones du bassin Adour-Garonne, nous avons choisi de présenter une approche synthétique de ces apports d'eau en année « moyenne ».

Le lien avec le rendement des cultures (fonction de production) et le bilan économique à l'échelle de l'exploitation est traité au chapitre IV C).

Les économies d'eau peuvent être décrites d'une part sur la base d'une conduite « bien irrigué » permettant l'obtention du potentiel de rendement au moins 8 années sur 10, sans limitation de la ressource et d'autre part sur la base d'une conduite en situation restrictive.

Les volumes d'eau présentés sont des volumes indicatifs moyens pour le Sud-Ouest, avec des fréquences et des doses d'apports « moyennes ». Les valeurs indiquées sont issues des stratégies d'irrigation des guides techniques de ces cultures (Arvalis, Terres Inovia). Ces tableaux permettent de situer de manière indicative les besoins de chaque culture sur un territoire. Ils doivent être adaptés selon ses situations locales (sols, climat, dates de semis / précocité, niveau de restriction des ressources).

Tableau 3 : Exemple de synthèse des apports d'eau (en mm) par culture de printemps en conduite "bien irrigué"

mois	avril			mai			juin			juillet			août			septembre			nb apports	dose cumulée
décades	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3				
Maïs grain					25	25	25	30	30	30	25	25	25				9	240		
Soja							30		30	30	30	30	30	30			7	210		
Sorgho								30	30	30							3	90		
Tournesol								35	35	35							3	105		
Pois	30		30														2	60		

Source : Solagro à partir des données des Instituts techniques

En situation de conduite « bien irriguée », les apports par l'irrigation du maïs sont en année moyenne de l'ordre de 2400 m³/ha apportés en 9 passages. Selon Arvalis, cette valeur varie dans une plage de 100 à 400 mm selon les petites régions du bassin Adour-Garonne.

En situation restrictive, les stratégies d'irrigation de ces cultures s'adaptent à l'importance de la restriction, avec des conséquences sur les rendements et éventuellement la qualité des cultures, ainsi qu'aux cultures prioritairement irriguées, a priori celles qui permettront la meilleure plus-value économique.

L'éventail des situations est impossible à décrire à l'échelle du bassin Adour-Garonne, aussi bien pour la situation de base du maïs irrigué pour une année X, que pour les cultures qui peuvent le substituer.

Un exemple de synthèse des **apports par culture en conditions restrictives** est proposé dans le Tableau 4 ci-dessous. Il vise à donner des repères qui doivent être adaptés pour chaque exploitation et territoire.

Mois	avril			mai			Juin			juillet			août			septembre			nb apports	dose cumulée
Décades	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3				
Maïs grain						25		25		25	25		25					5	125	
Soja							25		25		25		25					4	100	
Sorgho								25										1	25	
Tournesol									30									1	30	
Pois		30																1	30	

Tableau 4 : Exemple de synthèse des apports possibles d'irrigation en conditions restrictives "fortes" (Solagro à partir des données des instituts techniques)

Ces apports d'irrigation sont près de deux fois inférieurs aux besoins des cultures en conduite « bien irriguée ». Dans ces conditions restrictives en eau, le rendement des cultures est inférieur au rendement obtenu en situation non restrictive.

De manière synthétique, les économies d'eau permises par les cultures de printemps en substitution du maïs grain en Adour-Garonne sont, dans des conditions plutôt restrictives des ressources en eau, de l'ordre³ de :

Environ 25 mm pour le soja,

Environ 100 mm pour le sorgho, le tournesol et le pois.

A cette économie d'eau permise par la diversification s'ajoute le **décalage des apports pour l'irrigation**. En effet, les apports pour le maïs sont le plus souvent de juin à août compris. Le soja a des périodes d'apports similaires, tandis que le sorgho, le tournesol et le pois, ont des besoins d'apport plus ponctuels et plus tôt dans la saison, évitant ainsi les grandes périodes d'étiage usuels d'août et de septembre.

4.2 Economie potentielle d'eau lors de la substitution par des cultures d'hiver

L'irrigation des céréales à paille et du colza étant décidée selon les conditions climatiques de l'année et l'état de la réserve hydrique du sol, les apports d'eau par irrigation dans le sud-ouest sont de l'ordre de 0 à 2 tours d'eau, soit 30 à 60 mm, et parfois 3 tours d'eau certaines années-régions.

En prenant une irrigation moyenne du maïs grain de l'ordre de 2000 m³/ha, l'économie d'eau est de l'ordre de 1400 à 1700 m³/ha, soit 70 à 85% d'économies d'eau.

Le prélèvement en eau pour ces cultures d'hiver est positionné tôt au printemps, sur la période mi-avril à mai. Ce sont donc des prélèvements hors périodes d'étiage.

³ Avec un niveau « moyen » des doses apportées par tour d'eau, entre 20 et 30 mm le plus souvent.

La diversité des situations des exploitations ne permet pas de donner des règles simples d'économie d'eau par exploitation ou par territoire. Des exemples d'exploitations ayant mis en œuvre ces changements profonds de cultures indiquent des réductions de volumes d'eau de 30 à 70% selon les cas.

La substitution du maïs irrigué par des cultures d'hiver, irriguées ou non, peut donc engendrer des économies d'eau importantes, et peut permettre :

- de faire face concrètement à une diminution durable de la ressource en eau disponible pour l'exploitation, donc en diminuant la surface à irriguer et le volume prélevé par l'exploitation
- par choix volontaire, compte tenu de la rentabilité des cultures de l'exploitation, d'adopter une stratégie d'exploitation différente visant la recherche d'un nouvel équilibre entre productions, moyens et revenu dégagé
- à volume prélevé constant, de disposer de plus d'eau pour les surfaces restantes de maïs ce qui permet potentiellement de mieux les irriguer

Selon la situation initiale, cette substitution peut engendrer des conséquences très différentes sur les dimensions techniques, sociales et économiques de l'exploitation. L'agriculteur doit combiner les préoccupations agronomiques, économiques, organisationnelles pour déterminer l'assolement de l'année et ceux des années suivantes (10). Dans les cas où les cultures existent déjà sur l'exploitation, leurs itinéraires techniques et les aspects socio-économiques (charges, produits, rentabilité, main d'œuvre) sont connus et permettent d'appréhender les impacts de ces changements sur ces différentes dimensions et d'établir un prévisionnel. Dans le cas où elles n'existent pas encore, l'agriculteur devra engager des démarches d'acquisition de références et d'appropriation pour pouvoir décider et par la suite pour mettre en place ces cultures. Dans ces 2 cas, parmi les ressources existantes, les logiciels de simulation de modifications d'assolement tels que LORA existent et peuvent être mobilisés pour cadrer la réflexion. Le développement potentiel de ces substitutions sera précisé dans la partie « freins et leviers ».

4.3 Simuler la combinaison des cultures pour évaluer les impacts sur l'eau

Des logiciels de simulation d'assolement, qui intègrent la croissance des cultures selon leurs conduites et les facteurs de production (intrants, année climatique), peuvent permettre de comparer différents scénarios d'assolement et de pratiques, en prenant en compte des aspects réglementaires tel que ceux relatifs à l'irrigation, sous contrainte ou non. Ils produisent aussi des résultats économiques (produits, charges et marges) pour évaluer l'intérêt de la modification d'assolement. Ces logiciels (par exemple LORA) sont assez gourmands en données de base, ce qui rend leur accès direct aux agriculteurs difficile pour des simulations individualisées. La plupart du temps, des exploitations types sont étudiées sur un territoire donné. Les pratiques et assolements existants permettent d'établir la « référence » actuelle, base à partir de laquelle peuvent être établis des scénarios. Le volume d'eau pour l'irrigation est obtenu pour chaque scénario selon la stratégie d'irrigation retenue.

Encadré 1 : LORA, exemple de logiciel d'optimisation et de recherche d'assolement (ARVALIS-INRA)

Le logiciel LORA permet d'évaluer la variabilité des rendements des cultures selon leur niveau d'alimentation en eau (fonctions de production). Il donne aussi des résultats économiques dont la marge globale de l'exploitation par exemple. Des simulations de diversification d'assolement ont été effectuées par ARVALIS avec le logiciel LORA sur des exploitations types de Poitou-Charentes (38). Dans un contexte de volume restreint connu (ici : 150 000 m³ dans ce cas pour 180 ha au total dont 100 ha sont irrigables), différents scénarios de cultures irriguées et en sec ont été évalués, en modulant les surfaces de cultures et leurs modalités d'irrigation :

- Scénario 1 (référence) correspond à la pratique actuelle avec 60 ha de maïs irrigué proche de l'ETM (250 mm) ;
- Scénario 2 (100% maïs) : 100 ha de maïs irrigué à 130 mm (soit 50% de l'ETM) ;
- Scénario 3 (diversification été) : 75 ha de maïs irrigué à 150 mm, 12,5 ha de sorgho et 12,5 ha de tournesol irrigués à 60 mm ;
- Scénario 4 (diversification printemps) : 75 ha de maïs à 150 mm, 12,5 ha de blé et 12,5 ha de pois irrigués à 60 mm ;
- Scénario 5 (mixte) : 70 ha de maïs à 150 mm avec pois, blé tendre et tournesol (10 ha chacun) irrigué à 60 mm.

SOLE IRRIGUÉE : différents assolements pour une disponibilité en eau de 150 000 m³

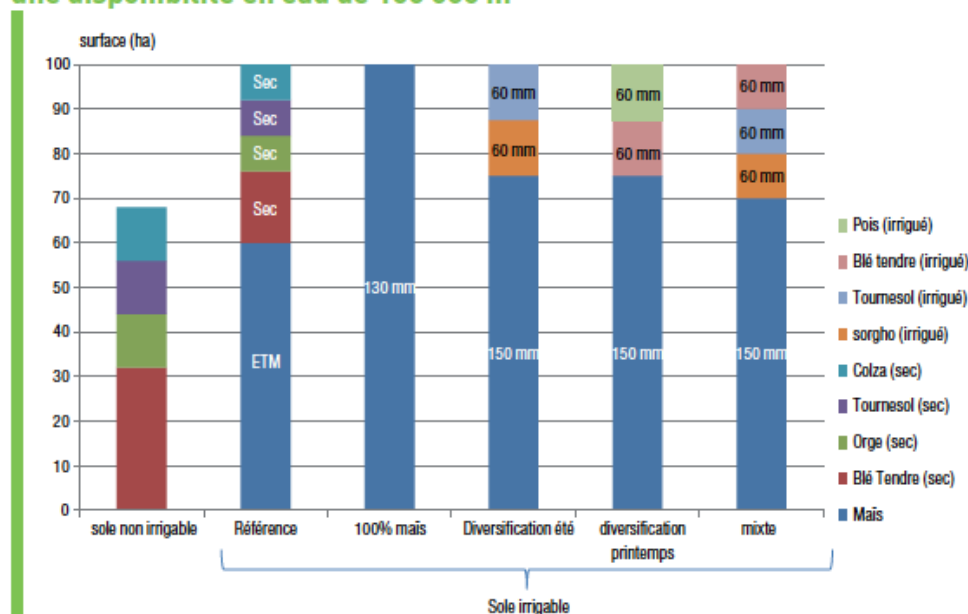


Figure 2 : Stratégies d'adaptation de la sole irriguée étudiées définies à partir des pratiques locales.

En matière de recherche, d'autres modèles tels que MAELIA⁴ permettent d'évaluer, à l'échelle du territoire, les impacts environnementaux, économiques et sociaux des changements combinés de normes de gestion de l'eau, d'activités agricoles et globaux (démographie, dynamique d'occupation du sol et changements climatiques). Actuellement, cette plateforme permet de représenter à des résolutions spatiale et temporelle fines les interactions entre les activités agricoles (choix d'assolement, conduite des différents systèmes de culture au sein de chaque système de production), l'hydrologie des différentes ressources en eau et la gestion des ressources en eau (lâchers, restrictions, choix entre ressources). Cette méthode est en cours de test sur les territoires de l'Adour amont, et du Tarn aval (projet Casdar SILMULTEAU) et sur l'Aveyron aval et la Garonne amont. Les résultats devraient être disponibles courant 2016 sur des premiers territoires.

5 Impacts agronomiques et environnementaux

L'impact de l'irrigation sur le rendement des cultures a été abordé dans la présentation des cultures et leurs besoins en irrigation.

L'estimation des diminutions de rendement lors d'une substitution de culture est délicate car de nombreux paramètres locaux interviennent. Certains résultats des expérimentations nous indiquent parfois des diminutions de rendement par différence avec une conduite « bien irriguée ». Ces rendements ne correspondent pas aux rendements moyens des cultures au sens des statistiques agricoles (tels que la SAA).

L'irrigation (ou à l'inverse son absence) des cultures d'hiver et de printemps permet les gains de rendement suivant :

- Pour les céréales à paille, le gain de rendement permis par l'irrigation est en moyenne de 6 à 8 q/ha (6) pour 30 mm d'irrigation bien positionnée (fourchette de 1,4 à 2,9 q/ha pour 10 mm) ;
- Pour le colza, le gain de rendement est de 2,5 q/ha pour 30 mm d'irrigation (9) (8) ;
- Pour le soja : 10 à 15 q /ha pour une irrigation de 150 mm (sols profonds) à 250 mm (sols superficiels) ;
- Pour le sorgho : jusqu'à 40 q/ha d'écart entre sec et irrigué (avec 150 mm environ) ;
- Pour le tournesol : gain de rendement de 8 à 10 q/ha pour 60 mm d'irrigation ;
- Pour le pois : gain de 15 à 20 q/ha en sols superficiels avec 120 mm d'irrigation.

Pour ces cultures, les écarts de rendements entre cultures conduites en irrigué et conduites en sec ne sont pas connus dans les statistiques agricoles. Nous n'avons pas identifié de synthèse d'expérimentations sur ce point. Seuls des logiciels de modélisation permettent à partir des fonctions de production de cultures de simuler le rendement selon le climat et les facteurs de production.

En pratique, d'après les entretiens effectués auprès des coopératives, les choix des cultures et donc d'assolement sont fait par l'agriculteur généralement avec l'appui de son conseiller de production (en particulier quand il s'agit de contrat de production) combiné à celui de son conseiller de gestion.

⁴ <http://maelia-platform.inra.fr/>

A noter que ces cultures ne nécessitent pas de matériel spécifique pour leur implantation et leur conduite culturale. Toutefois dans certaines exploitations spécialisées, l'introduction de certaines de ces cultures peut nécessiter un semoir type céréales ou le recours à de la prestation externe.

Les impacts agronomiques et environnementaux de la substitution du maïs par les cultures de substitution citées portent surtout sur la diversification des cultures dans la rotation et les successions culturales et par conséquent des modifications des intrants en lien avec les cultures : semences, engrais, protections phytosanitaires avec en particulier la maîtrise des adventices et des ravageurs et le développement de la biodiversité fonctionnelle. En particulier, l'Indice de Fréquence de Traitement (IFT) aura tendance à augmenter puisque celui du maïs est faible par rapport aux autres grandes cultures, quand elles sont conduites en conventionnel.

Ces impacts agronomiques et/ou environnementaux peuvent être calculés dans les logiciels tels que SYSTERRE, MASC, IDEA ou MAELIA, mais les articles disponibles ne mentionnent pas ces impacts environnementaux. Les impacts agronomiques et environnementaux peuvent aussi être appréhendés dans le cadre des travaux en cours des organismes de recherche et de développement (INRA, Instituts techniques, coopératives et chambres d'agriculture) sur des systèmes de cultures innovants dans le cadre de l'agroécologie, répondant à des exigences économiques, agronomiques et environnementales. Ils visent à expérimenter et analyser des diversifications d'assolements moins consommateurs d'intrants (azote, produits phytosanitaires, irrigation), en travaillant sur les assolements et les successions culturales, la conduite des cultures et des couverts végétaux en interculture.

Parmi les travaux identifiés (non exhaustif), on peut citer les expérimentations sur le site du domaine de Lamothe (31) de l'Ecole d'ingénieurs de Purpan (11) dans le cadre du projet MicMac Design et MAESTRIA et ceux de la chambre régionale d'agriculture de Poitou-Charentes (12) dans le cadre de l'étude des systèmes de cultures innovants en Poitou-Charentes. Ces travaux exploratoires présentent une analyse multicritère de divers scénarios d'évolution de systèmes de cultures.

A Lamothe, « le passage d'un système en monoculture de maïs « conventionnel » à un système de culture innovant ne s'accompagne pas systématiquement d'une baisse de la marge semi-nette (intégrant les frais de mécanisation) du système de culture. Les systèmes en rotation ont certes tendance à faire baisser la marge brute annuelle, mais ils permettent en contrepartie d'étaler le temps de travail » (11). La mise en œuvre de ces nouvelles techniques nécessite des apprentissages par exemple en matière de désherbage mécanique, désherbage mixte, strip-till et travail du sol réduit...). Les résultats provisoires sur les deux premières années doivent être confortés sur la durée. Ces travaux de recherche, financés par l'ANR, l'Agence de l'Eau Adour-Garonne et le Conseil régional de Midi-Pyrénées, devront faire l'objet en temps voulu d'une analyse et d'une diffusion.

Les différences de volume de productions dû à l'arrêt partiel ou total du maïs grain doivent être analysées globalement pour l'exploitation du point de vue économique, en prenant en compte les évolutions des charges et des produits. C'est la vocation du travail mené de 2008 à 2015 en Poitou-Charentes sur les systèmes de culture innovants, particulièrement en termes de qualité de l'eau et de quantité d'eau. Basés sur 10 études de « cas-types » locaux, le travail a porté sur la définition des systèmes innovants, leurs tests au champ, l'évaluation de leurs performances sur une analyse multicritère (agronomiques, environnementaux, travail et économiques) et la comparaison avec des systèmes dit de référence ou dominants localement. Un des ces systèmes est la monoculture de maïs

irrigué « SDCI Charente en groies irriguées » sur le secteur de Oradour et des résultats sont présentés en annexe.

6 Analyse économique de l'action

6.1 Enjeux de l'analyse économique de la diversification des assolements

Le choix de l'assolement est pour l'agriculteur un des moyens dont il dispose pour s'adapter à son contexte économique, pédoclimatique, réglementaire, etc. Ce choix se raisonne selon :

- ses objectifs stratégiques, en termes notamment de rentabilité économique, d'autonomie fourragère pour les éleveurs, de durabilité environnementale, etc.
- des débouchés disponibles et de l'approvisionnement,
- de ses contraintes pédoclimatiques,
- d'organisation de son capital (matériel, terres, irrigation) et de sa force de travail (main d'œuvre)
- le contexte réglementaire (aides de la PAC (1er et 2nd pilier), la conditionnalité des aides de la PAC disponibilité de l'eau pour l'irrigation, etc.).

De plus, dans un contexte de changements climatiques et de forte fluctuation des prix des intrants et des produits agricoles, le choix des assolements est de plus en plus stratégique pour les agriculteurs.

Ainsi, Leveau et al. (2012) distinguent deux échelles temporelles et spatiales pour conduire ces décisions :

- Une orientation à court terme, réalisée à chaque début de campagne pour ajuster la sole aux conditions de l'année, en termes notamment d'état prévisionnel de la ressource en eau, de changements de la réglementation et de l'anticipation des prix du marché. Ces choix portent alors sur le type de cultures, le choix des variétés, etc. En cours de campagne, les décisions en termes de conduite de culture pourront être révisées en fonction des conditions réelles, sur la base d'outils d'aide à la décision ou les conseils reçus par les agriculteurs.
- Une orientation pluriannuelle du système de production, équilibrant le choix des cultures et des itinéraires techniques avec la disponibilité en eau, du matériel et de la main d'œuvre, la présence de débouchés durables, les contraintes sur les ressources (ie : rareté, limitation réglementaire), les objectifs associés à l'atteinte d'une autonomie fourragère, mais aussi la gestion de la fertilité, des adventices dans les systèmes sobres en intrants, etc.

Afin d'estimer l'impact économique de la substitution du maïs par une ou des cultures alternatives il s'agirait d'analyser l'évolution de la marge brute du système de grandes cultures de l'exploitation agricole entre la situation avant la diversification et la situation après la substitution. Idéalement, cette comparaison devrait se baser sur des données statistiquement représentatives des exploitations agricoles du bassin Adour-Garonne ayant effectué ce type de diversification, en prenant en compte plusieurs années avant l'action et après l'action pour lisser les variabilités. En effet, les marges brutes annuelles par culture présentent une importante variabilité interannuelle, due aux facteurs climatiques et aux fluctuations des prix dont surtout le prix des commodités (forte volatilité), une variabilité

géographique (due aux facteurs pédoclimatiques), mais aussi une grande variabilité entre les différentes exploitations (due aux différents itinéraires techniques). Cependant, de telles données ne sont pas disponibles.

Comme le souligne Meynard et al. (2014), « les calculs de marge économique, dans les conseils sur les choix des cultures, sont souvent réalisés culture par culture, sans tenir compte des effets précédents, plutôt qu'à l'échelle de la rotation », ce qui est un des freins à la diversification car ils ne reflètent pas la véritable rentabilité des cultures alternatives. Par exemple, seul le calcul de la marge brute à la rotation permet de prendre en compte dans le calcul le rendement supérieur de la culture suivant un protéagineux, ainsi que l'ajustement de l'itinéraire technique en termes d'intrants azotés et de produits phytosanitaires (13). Par ailleurs, il est essentiel de considérer la rotation culturale comme unité d'analyse, afin de prendre en compte le fonctionnement global de l'exploitation et capter leur durabilité économique, environnementale, agronomique et sociale.

Dans un contexte de forte variabilité des prix et d'incertitudes climatiques croissantes, auxquels s'ajoute une méconnaissance des intérêts à long terme de la diversification, les producteurs sont incités à adopter une vision à court terme : lorsque les prix des cultures principales sont élevés, les agriculteurs privilégient ces cultures, même si les prix des cultures de diversification sont eux aussi tirés vers le haut (Meynard et al., 2016).

Sont présentés ci-dessous les résultats d'expérimentations et de recherches issus de la littérature scientifique et technique qui a été mise à disposition pour l'étude. Il n'a pas été possible de distinguer les cultures d'hiver et de printemps dans cette analyse, qui est donc similaire pour l'AEE 14.

Il est important de souligner que les difficultés suivantes ont été rencontrées

- Il n'a pas été réalisable de collecter une information homogène sur la rentabilité des cultures « culture à culture » dans le §0 et facilement comparable, en termes d'années, de séries annuelles, de géographie, etc. ;
- dans la littérature, les variables économiques utilisées pour comparer les cultures et les rotations diffèrent d'une étude à l'autre. Certaines utilisent les marges brutes, d'autres les marges nettes ou semi-nettes ou encore l'Excédent Brut d'Exploitation, ou d'autres variables, en utilisant de plus des méthodes de calcul qui peuvent varier d'un organisme à l'autre, ce qui rend difficile les comparaisons entre les études et d'obtenir une information cohérente et homogène pour conclure sur la rentabilité relative des assolements étudiés.

Ces différentes analyses sont réalisées à l'échelle de l'exploitation. Cependant, d'autres facteurs extérieurs, tels que l'existence de débouchés, la structuration des marchés et de la filière ou les évolutions de la réglementation, sont aussi des éléments essentiels qui influencent le choix des assolements, ce qui implique une analyse à l'échelle de la filière et du territoire. Cela est traité de manière qualitative dans la présente fiche, dans l'analyse des freins et leviers.

6.2 Comparaison de la rentabilité « culture à culture » par rapport au maïs

6.2.1 Comparaison de la rentabilité « culture à culture »

Comme précisé plus haut, l'analyse ci-dessous mériterait d'être approfondie, elle est basée sur les informations ayant pu être collectées. Il aurait été intéressant d'avoir des données sur toutes les cultures étudiées ici, sur tous les territoires du bassin Adour-Garonne et d'avoir un indicateur plus précis que les marges brutes, prenant en compte en particulier les frais de structure, la mécanisation, la main d'œuvre, etc. Ces données n'ont cependant pas été trouvées et l'analyse repose sur l'information à disposition, à savoir les marges brutes de certaines cultures, certaines années sur certains territoires, détaillés en annexe 2.

La bibliographie et les référentiels technico-économiques analysés, ainsi que les entretiens réalisés dans le cadre de l'étude mettent en évidence que les marges brutes du maïs irrigué, en situation d'irrigation non contrainte, restent plus importantes par rapport aux cultures de substitution proposées, avec des valeurs qui peuvent atteindre le double, voire le triple des autres cultures⁵. Par exemple, les référentiels technico-économiques de la Chambre d'Agriculture Midi-Pyrénées et de la Haute-Garonne montrent qu'en moyenne sur 2007, 2009 et 2011, la marge brute du maïs est 1.5 fois celle du tournesol, 2 fois celles du blé tendre et du blé dur et 3 fois celles de l'orge et du colza (voir ANNEXE 2). D'un point de vue économique, en ne considérant que les marges culture à culture, le maïs reste la culture la plus rentable pour les agriculteurs.

La bibliographie étudiée et les entretiens réalisés mettent en évidence qu'en moyenne, **seul le soja a des marges brutes comparables à celles de maïs et peut être compétitif avec ces cultures certaines années**. Ces deux cultures présentent également des rendements plus stables d'une année sur l'autre. Par ailleurs, selon les entretiens et les diagnostics réalisés dans le cadre de l'étude, la conduite, le cycle, les techniques de semis et le suivi du soja sont proches de ceux du maïs et c'est donc la production la moins difficile à appréhender pour un agriculteur en cas de diversification imposant la maîtrise d'une nouvelle culture. Le soja est ainsi une culture de substitution de choix pour les agriculteurs, aussi bien d'un point de vue technique qu'économique. La rentabilité du soja peut même être supérieure à celle du maïs, comme cela a été le cas en 2015 (entretiens coopératives et diagnostics agriculteurs).

Cependant, ces conclusions doivent être considérées avec précaution étant donnée la variabilité interannuelle importante de la marge brute du maïs et des autres cultures, en fonction des années et des zones de culture. Par exemple, entre 2007 et 2011, la marge brute du maïs irrigué est passé de 1 472 €/ha à 874 €/ha, soit une baisse de 40 % en 4 ans, liée principalement à la chute du prix du maïs (de 190 à 130 €/t).

L'ANNEXE 2 présente un tableau récapitulatif de la rentabilité du maïs irrigué, du colza, du blé tendre, du blé dur, de l'orge et du tournesol pour les années 2007, 2009 et 2011 en Midi-Pyrénées ou Haute-Garonne.

⁵ Par exemple, voir, (33) ; (28), (40) ; (32) ; (4) ; (32) ; (15) ; (30) (31) ; (29) ; (7) (2)...

6.2.2 Impact de la diversification des assolements sur le coût de l'irrigation

La diversification des assolements peut réduire la sole irriguée ou réduire les quantités d'eau consommées à l'échelle de l'exploitation agricole (renvoi § 4), ce qui va réduire le coût de l'irrigation. Celui-ci est composé :

- des charges opérationnelles, comprises dans le calcul des marges brutes, qui sont proportionnelles d'une part, aux volumes d'eau consommés (comprenant par exemple la redevance de l'Agence de l'eau, celles de l'OUGC, de la CACG, etc.), et d'autre part aux consommations d'énergie (fuel ou électricité). Ces coûts sont pris en compte dans l'analyse du §6.2.1 ;
- des charges fixes, correspondant à l'amortissement des infrastructures permettant l'accès et la distribution de la ressource (coût de fonctionnement des associations syndicales autorisées, investissement dans les retenues collinaires, pompes, canalisations, etc.) et du matériel d'irrigation.
- Ainsi, l'avantage économique du maïs par rapport aux autres cultures ne peut pas se résumer à la comparaison des marges brutes comme c'est souvent le cas ; il faut intégrer le poids des coûts fixes.
- Selon Arvalis et la CRAMP (14), les coûts fixes de l'irrigation en Midi-Pyrénées en 2005, étaient en moyenne de :
- 300 €/ha/an pour les exploitations avec du matériel en cours d'amortissement
- 150 €/ha/an pour les exploitations avec du matériel amorti.

Pour les agriculteurs en ASA, les coûts fixes de l'irrigation peuvent cependant être beaucoup plus élevés (voir Encadré 1).

Il est cependant difficile de conclure sur l'impact de la diversification des assolements sur le niveau de charges fixes de l'exploitation agricole. En effet, cela dépend de nombreux critères tels que l'appartenance ou non à une ASA, l'amortissement du matériel en cours ou finalisé, les stratégies d'irrigation précédant la diversification (surdimensionné ou sous-dimensionnées), etc. Cela dépend aussi si la diversification permet l'arrêt de l'irrigation (cultures en sec) ou une réduction (maintien d'une sole irriguée). Cela peut dans certains cas être un frein, si le matériel n'est pas encore amorti ou en cas d'appartenance à une ASA, ou bien un levier, l'arrêt de l'irrigation ou sa réduction pouvant permettre de réduire les charges fixes ou éviter l'investissement dans du matériel pour renouveler le parc.

Encadré 1 : Charges d'irrigation d'un agriculteur en ASA rencontré dans le cadre de l'étude (exploitation en grandes cultures en Midi-Pyrénées)

Un des agriculteurs rencontrés dans le cadre de l'étude a diversifié son assolement en substituant en 2007 du maïs et du soja irrigués d'un système comportant uniquement ces deux cultures par un système plus diversifié et moins irrigué, grâce à l'introduction de cultures en sec et ainsi que des cultures irriguées autres que le soja et le maïs tout en maintenant une surface dans ces deux cultures. Les charges fixes liées à l'ASA sont de 5 470 € HT par an auquel s'ajoute 1 830 € pour la part proportionnelle au volume d'eau consommé, soit un total de 7 300 € en 2015 pour 23 600 m³ d'eau consommés, soit 235 € par ha irrigué et 0,31 €/m³ utilisé. Les charges fixes ASA représentaient ainsi 75 % du coût de l'eau en 2015. En considérant une consommation d'eau deux fois plus importante, au prix de 2015, ces charges fixes ASA représenteraient les deux tiers du coût de l'irrigation. L'agriculteur en conclut « que j'irrigue ou pas, cela me coûte la même chose ». Ces

coûts fixes élevés s'expliquent principalement par le fait que :

- **D'une part, son débit souscrit est de 97 m3/h pour 55 ha de surface engagée, ce qui est surdimensionné par rapport au nombre d'ha irrigués depuis la diversification (31 ha en 2015) mais qui lui permet de réaliser des tours d'eau rapidement en cas de sécheresse.**
- **D'autre part, le nombre d'adhérents à l'ASA et les surfaces correspondantes ont été réduits de moitié ces 10 dernières années, notamment à cause de départs en retraite, ce qui augmente les charges fixes pour les agriculteurs qui restent dans l'ASA.**

6.2.3 Impact sur les coûts en main d'œuvre et l'organisation du travail

Les coûts en main d'œuvre ne sont pas pris en compte dans le calcul de la marge brute. Or, l'irrigation peut être très consommatrice de main d'œuvre, en particulier pour les agriculteurs utilisant des enrouleurs. En effet, le travail lié à représente un pic de travail important et saisonnier durant les mois les plus chauds. Par ailleurs, pour les enrouleurs, il s'agit de les déplacer à chaque fin de position de celui-ci : la plupart du temps pour achever les tours d'eau à temps par rapport au besoin des cultures, les agriculteurs doivent suivre le rythme de l'enrouleur et se rendre au champ quelle que soit l'heure à laquelle s'achève la position. C'est aussi un travail pénible et salissant pour l'agriculteur, en particulier avec les enrouleurs.

Concernant les couvertures intégrales, les temps de pose et de dépose en début et fin de campagne sont longs et demandent souvent 2 à 3 personnes. Il faut ensuite assurer l'ouverture et la fermeture des tronçons pour respecter les doses et le tour d'eau.

Des ordres de grandeur des temps de travail nécessaire pour l'irrigation sont proposés dans le Tableau 5.

La réduction voire la suppression de l'irrigation se traduit par une baisse de travail conséquente, appréciée par les agriculteurs qui l'ont mise en oeuvre. Par ailleurs, en cas de substitution des cultures avec des cultures d'hiver, cela permet d'étaler le travail sur l'ensemble de l'année, et non pas de le concentrer durant l'été.

Tableau 5 : comparaison des temps de travail et du coût par hectare de l'irrigation avec 3 types de matériel

	Surface (ha)	Nombre de tours	Tâche réalisée	Temps de travail (min)	Coût annuel en main d'œuvre (€/ha/campagne)*
Enrouleur	2.8	6	déplacement du matériel	84	42
Pivot	20	6	Mise en route	34	2.76
Couverture intégrale	1.44	6	Pose et dépose	540	159
			Par position	34	

* Sur la base d'un coût horaire de 14 €/h de travail

Source : Arvalis et CRAMP (2005)

Il est cependant difficile de conclure sur l'impact de la diversification des assolements sur le travail qui dépend du type de rotations choisies par l'agriculteur et sur l'organisation de son matériel d'irrigation avant et après la substitution.

Encadré 2 : Témoignage d'agriculteurs rencontrés lors de l'étude sur l'impact de la diversification des assolements sur le temps de travail

Exemple 1 (grandes cultures, Midi-Pyrénées) : un des agriculteurs rencontrés lors de l'étude a substitué un système irrigué soja/maïs par un système comprenant des cultures en sec, du soja, du maïs et des terres laissés en jachère. Cela lui a permis de réduire de 80 % l'utilisation de la couverture intégrale et de passer de l'utilisation de 4 ETP et 90 jours de main d'œuvre ponctuelle pour la pose de la couverture intégrale à 2 ETP et 700 heures de prestation de service complémentaire, notamment pour le travail du sol et les semis.

Exemple 2 (grandes cultures, Midi-Pyrénées) : « Si on regarde simplement la marge de ces deux cultures, le maïs semence est plus intéressant, mais il nécessite beaucoup de travail ce qui pénalise le temps nécessaire pour faire les bonnes interventions sur les autres cultures. Si on regarde le résultat à l'échelle de l'exploitation sur l'ensemble des cultures, l'introduction du tournesol est économiquement intéressante et il nécessite moins d'eau. D'autre part, la rotation des cultures est une donnée importante pour moi. Malgré la stratégie d'économie et de valorisation de l'eau, toute culture en a besoin. L'irrigation représente une vraie sécurité pour assurer le rendement du tournesol et sécuriser le résultat de l'exploitation. »

6.3 Analyse à l'échelle des systèmes de culture

6.3.1 Prise en compte des effets précédents dans le calcul de la rentabilité

L'effet précédent à court terme et les effets cumulatifs sur l'ensemble de la rotation sont peu quantifiés économiquement. Dans le cadre de l'étude, il n'a pas été trouvé d'exemple chiffré dans le contexte du bassin Adour-Garonne, un exemple en Bourgogne est cependant proposé en ANNEXE 3 pour illustrer les gains économiques potentiels des effets précédents.

6.3.2 Analyse comparée de différents systèmes de culture

L'analyse des systèmes de culture doit se faire sur la base d'une évaluation multicritère tenant compte non seulement des aspects économiques mais aussi agronomiques, environnementaux, sociaux et réglementaire. Un certain nombre de projets de recherche et d'expérimentation ont adopté cette approche, notamment pour identifier des itinéraires techniques économes en intrants, en particulier les pesticides. Ils permettent d'analyser dans quelles mesures les systèmes diversifiés permettent **d'améliorer la gestion des risques dans l'exploitation** en : 1) diminuant les charges intermédiaires liées à la réduction de l'utilisation des intrants, la consommation d'énergie, etc.), 2) améliorant la répartition du temps de travail ; 3) améliorant la trésorerie, 4) améliorant les bénéfices agro-environnementaux. Par ailleurs, d'autres projets, programmes et réseaux dont ce n'est pas

toujours l'objet premier peuvent aussi fournir des informations précieuses pour l'analyse et la comparaison des systèmes de cultures.

On peut ainsi citer les programmes, projets et réseaux suivants, des détails étant fournis en ANNEXE 3 :

- Les projets Mic-Mac design et MAESTRIA ;
- Le projet « Systèmes de Grandes Cultures Intégrés » ;
- Les essais de systèmes de culture innovants, « substitution du maïs » dans les terres Groies irriguées (Charente) menée entre 2008 et 2015 par la Chambre Régionale d'Agriculture de Poitou-Charentes ;
- Etude de l'INRA sur la diversification des assolements (Meynard et al., 2014) ;
- Etude sur les rotations-types en Midi-Pyrénées en Agriculture Biologique menée par la Chambre Régionale d'Agriculture de Midi-Pyrénées ;
- Le RMT SdCI « Systèmes de culture innovants » ;
- Le projet inter-instituts Syppre, combinant des données sur l'évolution des pratiques et des performances des systèmes de production actuel, issus d'observatoires, de plateformes expérimentales et des réseaux d'agriculteur, afin d'accompagner la mise au point de systèmes de grandes cultures innovants et performants d'un point de vue économique et environnemental⁶.

A noter que pour les quatre premiers projets, des hypothèses ou des scénarios sur l'accès à la ressource en eau sont étudiés.

Cette liste proposée ci-dessus n'est pas exhaustive.

Dans les délais de l'étude, il est difficile d'approfondir plus en détails les résultats de ces différents projets, mais la première synthèse réalisée ici souligne le fait que **des assolements diversifiés, avec rotations longues, peuvent être aussi rentables que des systèmes basés sur des monocultures de maïs et des rotations courtes, en particulier en cas de contrainte d'accès à l'eau**, permettant de sécuriser les rendements des cultures irriguées en concentrant l'irrigation sur une partie de l'assolement pour limiter les aléas climatiques. Quelques brèves illustrations sont proposées dans l'ANNEXE 3 pour certains des projets listés ci-dessus.

Pour la suite, il serait intéressant que les résultats de ces différentes études et projet soient confrontés entre eux puis valorisés de manière transversale par l'AEAG, afin de diffuser les informations auprès des professionnels pour accompagner les changements d'assolement.

A noter qu'un stage est en cours encadré par Arvalis dans le cadre de l'UMT Eau. L'objectif est de poursuivre l'évolution des outils d'aide au choix d'assolement qui doivent intégrer les objectifs fixés par un agriculteur tout en minimisant les risques climatiques et économiques encourus. Ces réflexions passent par un test sur un bassin avec des ateliers de conception d'assolement.

⁶ <http://www.arvalisinstitutduvegetal.fr/syppre-construire-ensemble-les-systemes-de-culture-de-demain-@/view-1333-arvstatiques.html>

6.4 Analyse à l'échelle du système de production

La diversification de l'assolement peut également avoir un impact sur le système de production dans sa globalité, notamment dans le cas des systèmes de polyculture élevage. Par exemple, en cas de diversification, les exploitations ayant bâti leurs stratégies sur une autonomie fourragère dont le pivot est le maïs devront modifier durablement leur système (Hébert, 2012). Néanmoins l'introduction de prairies temporaires et la diversification sur la base de sorgho fourrager par exemple apportent des solutions technico-économiques tout à fait intéressantes. L'introduction d'herbe dans la ration « plat unique maïs » aura pour effet un rééquilibrage nutritionnel qui sera favorable au bon fonctionnement métabolique. Des expérimentations ont été menées par la Chambre d'Agriculture des Landes sur l'introduction de sorgho grain sucrier (BMR) ensilé dans les rations de vaches laitières et ont montré une amélioration de la quantité et de la qualité de lait par rapport au lot ne recevant que du maïs (CA40, 2010).

6.5 Brève analyse à l'échelle de la filière

L'impact socio-économique de la diversification doit également être analysé à l'échelle du territoire ; il est dû à l'agrégation des impacts de la diversification sur les différents types d'exploitations mais aussi sur les autres acteurs de la filière tels que par exemple les entreprises de collecte et de stockage.

Des informations sur cet impact économique peuvent être trouvées dans les études commanditées par l'Agence de l'eau Adour-Garonne, en co-pilotage avec la DRAAF et la DREAL, sur les impacts économiques de la mise en œuvre de la réforme des autorisations de prélèvement (voir .

Encadré 3) (Hébert, 2012), ainsi que dans les études réalisées par le CGAAER en 2011 et 2015. Une synthèse brève de ces résultats est proposée ci-dessous.

Encadré 3 : Impacts de la réforme des autorisations de prélèvement dans le bassin Adour-Garonne sur l'économie agricole (16)

L'étude a porté sur 6 sous-bassins tests et a impliqué les différents acteurs concernés. Selon cette étude, la diminution des volumes autorisés de 28 à 90 % aboutirait à une perte d'EBE de 9 à 34 %, avec un impact plus fort pour les céréaliers et les éleveurs (allaitants et laitiers). En fonction des scénarios, plus ou moins pessimistes, il est estimé que 71 % à 91 % des 1 006 exploitations que comptent les 6 bassins tests verraient leur EBE réduit de plus de 10 % ; et que 11 à 21 % enregistraient des baisses d'EBE de plus de 30%. Ces résultats dépendent néanmoins de nombreuses variables (prix, ampleur des baisses d'autorisation, etc.) et sont très variables d'un sous-bassin à l'autre. L'étude a ensuite analysé les mesures d'accompagnement qui pourraient être mises en œuvre pour atténuer ces impacts : 1) mise en place de volumes définitifs (augmentation de l'offre) ; et 2) mesures d'appui à l'adaptation (diminution de la demande), dont l'appui à la diversification des cultures. Elle montre par exemple, grâce au modèle LORA (INRA Arvalis), que la mise en œuvre de la réforme avec une optimisation des assolements s'effectuant par substitution d'une grande part du maïs par du soja avec une conduite de l'irrigation légèrement restrictive (réduction de 41% des volumes autorisés) induirait une perte moyenne de 4 €/ha, la simulation incluant les aides PAC 2012.

Enfin les tentatives d'extrapolation en l'absence de toute mesure d'accompagnement donnent une baisse de 10% de la valeur ajoutée totale des cultures irriguées du bassin, et de 3% (soit 12 M€ par an) à la condition de mise en œuvre de l'ensemble des mesures d'accompagnement envisagées, qui incluent la réalisation de retenues nouvelles à hauteur de 150 M€ (réalisations qui à ce jour restent incertaines). Il apparaît que l'impact sur la filière maïs serait faible sur l'ensemble du bassin

et que les entreprises de collecte et de transformation ne seraient que peu impactées. En effet les bassins d'approvisionnement de ces coopératives sont importants, ce qui permet de lisser les impacts sur l'aval de la filière.

6.6 Freins et leviers socio-économiques au développement des cultures de substitution

On l'a vu précédemment, le choix de l'assolement repose sur un choix stratégique de l'agriculteur ; il doit prendre en compte pour cela un certain nombre de **paramètres internes à son exploitation** (moyens, conditions pédoclimatiques, etc.) ainsi que des **paramètres externes**, ceux-ci dépendant principalement de :

- l'amont des filières : le secteur des semences et de l'agrofourmiture, mettant à disposition une partie des facteurs de production ;
- l'aval des filières, soit :
 - le secteur de la collecte et du stockage des récoltes (opérateurs privés et coopératives) qui, en assurant le flux des matières premières à la fois dans l'espace (organisation géographique de la collecte et du stockage) et dans le temps (planification des transferts depuis l'amont vers l'aval, stabilisation et homogénéisation des lots), structure l'offre et organise la réponse aux demandes de l'aval;
 - le secteur de la transformation et de la distribution qui joue un rôle clé dans la structuration de la filière et l'accès au marché. En particulier, leur stratégie de différenciation des produits (notamment la préoccupation environnementale et la santé des consommateurs) permet la création de nouveaux débouchés susceptibles d'assurer la valorisation des espèces de diversification.
- politiques d'appui au développement des filières.

Les travaux de recherche qui ont analysé les filières de cultures de diversification dans leur ensemble montrent qu'il existe un verrouillage technico-économique certain autour des espèces « dominantes » telles que le maïs, qui bloque, ou tout au moins handicape fortement, le développement des espèces « mineures » (15). Les freins peuvent être différents en fonction des filières et leur identification demande d'avoir une compréhension systémique de ces filières. Les freins présentés ci-dessous ont généralement été identifiés grâce aux travaux collectifs de l'INRA menés par Meynard en 2014. Lorsque des sources complémentaires ont été utilisées, celles-ci sont spécifiées.

Face à ces freins, et même ce verrouillage socio-économique, que l'on a pu identifier et qui ralentissent le développement des filières des cultures de substitution, différents leviers techniques et économiques (débouché et coordination de la filière) doivent être mobilisés de façon simultanée afin de fournir aux cultures de substitution des avantages concurrentiels plus incitatifs (15).

6.6.1 Au niveau de l'exploitation agricole

L'introduction d'une nouvelle culture dans l'assolement reste **une prise de risque économique pour l'exploitant, particulièrement dans la phase d'apprentissage qui peut être longue**, pendant laquelle les itinéraires techniques sont mal maîtrisés. De plus, il faut considérer que cela peut demander de revoir l'ensemble d'un système de production ;

le producteur ne prendra donc cette décision que si elle répond à un véritable **objectif stratégique**, comme l'autonomie alimentaire de l'exploitation agricole (Schaller, 2012).

Le manque de connaissances, de références et d'outils technico-économiques sur la conduite des cultures et systèmes alternatifs reste un frein à la diversification dans la mesure où leurs itinéraires techniques sont souvent plus complexes que ceux du maïs (ex : pois) et les résultats en matière de rendement présentent des grandes variabilités selon les contextes pédoclimatiques, par exemple pour le sorgho ou le pois. Dans le contexte du bassin, cela a été confirmé par les coopératives rencontrées.

Par ailleurs, l'apprentissage par l'expérience prend du temps et l'introduction ou le développement d'une nouvelle espèce sur un territoire **nécessite une bonne maîtrise technique de celle-ci pour limiter les risques de contre-performance**. Or, l'expérience montre que l'introduction d'une nouvelle culture chez les agriculteurs ne supporte pas plus d'un ou deux échecs (par exemple, les accidents climatiques, les problèmes de récolte, etc.). Certains des entretiens réalisés lors de l'étude ont confirmé ces propos.

Il faut également souligner qu'une partie des producteurs de maïs **sont peu disposés à priori à mettre en place des systèmes plus complexes** impliquant des rotations, plus de technicité, voir des équipements spécifiques, en particulier chez les doubles-actifs, très présents dans certaines régions du bassin. Ce frein, identifié dans la littérature, a aussi été soulevé par une des coopératives interrogées pour la zone du Sud des Landes.

Pour surmonter ces risques, différentes actions peuvent être envisagées comme :

- Le développement et la diffusion de référentiels technico-économiques. En effet, ceux-ci permettent 1) de montrer les intérêts agronomiques et économiques que peuvent représenter les cultures de substitution ; 2) de diminuer les risques liés à l'intégration de la nouvelle culture dans l'assolement. Pour être utiles, ces référentiels doivent être adaptés aux conditions pédoclimatiques locales. A notre connaissance, ces référentiels portant sur des rotations types, dans des contextes pédoclimatiques sont encore peu existants et/ou peu diffusés auprès des agriculteurs, surtout en accès libre et gratuit. Il serait intéressant d'accompagner le développement et la diffusion de ce type de référentiel, qui pourrait être construit sur la base des projets cités précédemment et diffusés via les organismes professionnels. De plus, comme il l'a déjà été discuté précédemment, les effets précédents ou les autres effets de l'introduction d'une culture supplémentaire dans la rotation (rupture du cycle des maladies et ravageurs, gestion de l'enherbement, structure du sol, etc.) sont eux aussi souvent mal connus et pas suffisamment étudiés, et/ou démontrés, donc les informations diffusées aux agriculteurs se focalisent souvent uniquement sur les résultats économiques en termes de marges brutes à l'échelle annuelle par culture (voir aussi §0). Il apparaît donc pertinent de s'attacher à mieux insérer ces espèces dans les réseaux d'essais des instituts techniques et la production de référentiels technico-économiques locaux. Actuellement, des cultures comme le tournesol, le soja, le pois, les blés et le sorgho sont moins concernés par cette remarque, dans la mesure où les instituts techniques et les organismes économiques possèdent des réseaux sur ces cultures, mais la diffusion des informations semblent encore insuffisante. La mesure 1 du FEADER « Transfert de connaissances et actions d'information » et la mesure 16 « coopération » peuvent soutenir la réalisation de ces référentiels et leur diffusion.

- D'après Meynard et al. (2014), la méconnaissance des cultures de diversification par les conseillers des chambres et des coopératives expliquerait aussi certains échecs d'introduction de culture. Or tant que la culture de diversification reste marginale, peu d'efforts de formation des conseillers sont réalisés. Des formations pourraient être proposées, dans la cadre de la mesure 2 du FEADER notamment.
- L'étude de Meynard et al. (2014) met en évidence l'importance des échanges entre agriculteurs et des dynamiques collectives pour l'adoption de nouvelles pratiques ou de nouvelles cultures, avec en particulier le rôle clé joué par les agriculteurs pionniers. Le maintien de certaines cultures de diversification serait freiné par l'inexistence ou à la faible diffusion des connaissances écophysiologicals et de références locales concernant leur conduite. Un appui méthodologique et financier à la construction et à l'évaluation de ces expériences de terrain constitue un levier intéressant en permettant le renforcement des réseaux d'expérimentations et de conseils, et le partage d'expériences innovantes au sein des groupes d'agriculteurs. La revue bibliographique a montré qu'un certain nombre de projets de recherche et d'expérimentation, financées notamment par l'AEAG sont en cours et devraient déjà renforcer la connaissance que l'on a de ces systèmes de culture et leurs potentialités (voir §6). Le Groupement d'intérêt économique et environnemental (GIEE), statut créé dans le cadre de la Loi d'avenir pour l'agriculture du MAAF, pour favoriser des projets pluriannuels visant la modification ou la consolidation de pratiques permettant une triple performance économique, environnementale et sociale, portés par des collectifs d'agriculteurs, est aussi un outil intéressant pour favoriser la diversification des assolements. Des projets sont déjà en cours dans les régions du bassin Adour-Garonne⁷, visant notamment l'allongement des rotations, l'autonomie protéique, la diversification des assolements, etc. Les mesures 2 (conseil) et 16 (coopération) ainsi que des aides du CASDAR du FEADER soutiennent ces dynamiques.
- A notre connaissance, il n'existe pas d'outil d'aide à la décision utilisable par les agriculteurs pour les accompagner dans les choix d'assolement. On peut noter le développement d'outils d'aide à la décision pour la conception et l'évaluation de systèmes de cultures innovants destinés aux acteurs de terrain (conseillers agricoles, animateurs de bassin versant) :
 - Stephy, développé par l'INRA et paramétré pour la Bourgogne et l'Eure-et-Loir⁸.
 - Persyst développé par Corpen le Réseau mixte technologique « Systèmes de culture innovants », associé à un outil web collaboratif AgroPEPS⁹.

Le développement de tels outils pourrait favoriser les changements de pratiques.

⁷ Liste des GIEE disponible ici : <http://agriculture.gouv.fr/en-un-deja-plus-de-240-giee-reconnus>

⁸ <http://www6.inra.fr/psdr-bourgogne/Ressources/Documents/Guide-STEPHY>

⁹ <http://agropeps.clermont.cemagref.fr/mw/index.php/Accueil>

6.6.2 Au niveau de la filière

6.6.2.1 A l'amont de la production

Plus les surfaces emblavées en une culture sont importantes, plus les entreprises de l'amont que sont les semenciers et les fournisseurs d'agrofouritures peuvent rentabiliser leurs investissements en termes de sélection variétale, d'essais ou de conception de matériel spécialisé.

L'étude menée par Meynard (2014) souligne que la faible disponibilité en semences certifiées et les gammes trop réduites des variétés sont un des freins identifiés pour la majorité des cultures de diversification. Par ailleurs pour la plupart des cultures de diversification moins de produits phytosanitaires sont homologués car la procédure d'homologation est longue et coûteuse, ce qui dissuade les entreprises phytosanitaires d'investir sur les filières de niche. Néanmoins cela est à nuancer pour les cultures étudiées dans les fiches 13 et 14 qui, du fait de leurs divers intérêts environnementaux et économiques, bénéficient du soutien de la recherche publique et privée et des instituts techniques. Par exemple, Arterris, qui possède un accord d'approvisionnement avec un industriel, appuie le développement du pois alors que les surfaces sont en forte baisse depuis une quinzaine d'années.

6.6.2.2 Au niveau de la collecte et du stockage

Les agriculteurs prennent souvent leurs décisions sur leurs assolements en lien avec leurs organismes de collecte et de stockage. Or ces derniers basent leurs décisions essentiellement sur les prix et la rentabilité économique des productions, et donc sur les **potentialités en termes d'économie d'échelle**, surtout pour les marchés concurrentiels. Leur stratégie est donc de favoriser des volumes importants sur un nombre d'espèces restreint, dites « **cultures dominantes** ».

En effet, pour ces organismes de collecte et de stockage, les coûts logistiques de la collecte sont importants lorsque les cultures de diversification sont dispersées sur le territoire. De plus, certaines cultures ont des calendriers de récolte qui rentrent en concurrence, comme le maïs et ses cultures alternatives dans le Sud-Ouest. Le maïs est alors prioritaire pour le transport et le stockage. Ainsi la disponibilité des silos est souvent mentionnée dans la littérature mais aussi lors des entretiens avec les coopératives (voir l'Encadré 4) comme un frein au développement des cultures de substitution, tandis que le stockage à la ferme est confronté d'une part au coût d'investissement et d'autre part au coût d'opportunité vis-à-vis des cultures dominantes. Enfin certaines cultures demandent un traitement particulier, qui implique un investissement spécifique pour les coopératives.

6.6.2.3 A l'aval de la production

Les cultures de diversification proposées dans cette fiche ont des potentiels de développement différents en fonction de leurs débouchés, leurs marchés pouvant être plus ou moins dynamiques ou prometteurs. Ces cultures de diversification se placent notamment sur **des marchés très concurrentiels de matières premières agricoles standards, tels que la fabrication d'aliments du bétail (ex : soja, tournesol, sorgho), ou sur des marchés de niche en alimentation humaine (pois et soja AB par exemple).**

Du fait de l'industrialisation de l'agriculture, les agriculteurs et leurs coopératives ont de plus en plus tendance à **structurer leur offre en fonction de l'aval des filières,**

transformateurs et distributeurs. De plus la forte pression instaurée par les distributeurs incite les industriels à minimiser leurs coûts et donc le prix d'achat des matières premières, ce qui mène à une **standardisation de ces dernières** et donc au verrouillage des filières de culture de diversification.

On peut citer par exemple le marché de l'alimentation animale qui est un secteur particulièrement concurrentiel, où les cultures de diversification peinent à s'intégrer. En effet, les fabricants d'aliments ne raisonnent pas en fonction des espèces à intégrer mais en termes de nutriments pouvant être extraits des matières premières. La diversité des espèces potentiellement utilisables est très importante et rentre en concurrence sur des marchés spot mondialisés. La recherche de rentabilité économique a conduit à simplifier les formules, qui se concentrent principalement sur les céréales et les tourteaux de soja. Dans ce contexte, sans volume de production de taille critique ou sans avantage comparatif, les cultures de diversification trouvent difficilement leur place dans ce marché hautement concurrentiel et dont les formules sont très standardisées. Quelques espèces de diversification se développent cependant sur des marchés de niche, faisant de la différenciation par la qualité, par le développement de filières locales et tracées ou bien pour approvisionner les éleveurs en agriculture biologique. C'est le cas par exemple de la filière « bleu-blanc-cœur » de lin oléagineux, portée notamment par l'industriel Valorex qui cherche à s'affranchir des filières mondialisées et à s'approvisionner localement à travers la contractualisation avec des producteurs, l'interprofession Sojadoc qui regroupe en particulier l'entreprise Nutrition et Nature, et quatre organismes stockeurs, dont deux en conventionnel (Arterris et Espinaouet SARL) et deux en agriculture biologique (AgriBio Union et AGP) qui ont mis en place des cahiers des charges et une traçabilité pour garantir l'approvisionnement de l'usine de Revel en soja bio non OGM destiné à l'alimentation humaine, ou encore Euralis qui dans le cadre de son joint-venture avec Sanders, est en cours de structuration d'une filière locale de production de soja destiné à l'alimentation animale.

Il faut ajouter que les cultures de diversification peuvent demander des techniques spécifiques pour leur transformation, ce qui signifie des investissements supplémentaires pour les industriels (ex : trituration du soja).

Encadré 4 : la dynamique de diversification dans les coopératives du Sud-Ouest (d'après les entretiens réalisés dans le cadre de l'étude)

Depuis environ 5 ans, les coopératives du territoire ont anticipé les évolutions de la PAC, en particulier la mesure de diversification du verdissement de la PAC (voir §6.6.3), en conduisant des essais et des expérimentations pour rassurer les agriculteurs et favoriser des cultures d'hiver à paille, le colza, le tournesol et le soja. En effet, la certification maïs, mesure équivalente adoptée par la France permettant schématiquement l'implantation d'un couvert intermédiaire plutôt que de diversifier les assolements n'est applicable que dans les exploitations de maïs semences ou de maïs fourrage, pour des raisons de calendrier et de concurrence entre la récolte de maïs grain et l'implantation du couvert végétal. Par conséquent, les surfaces emblavées dans les cultures alternatives au maïs ont augmenté ces dernières années, de manière significative pour le soja et plus modeste pour les autres cultures (voir §1.3 et §1.4). Cependant, les coopératives rencontrées soulignent que mis à part pour le soja, les surfaces ne devraient pas continuer à croître.

Pour accompagner ces augmentations de surface, les coopératives ont dû restructurer leurs sites de collecte, surtout pour celles situées dans le sud de l'Aquitaine. Les difficultés rencontrées sont surtout d'ordre logistique, pour évacuer les cultures d'hiver avant l'arrivée du maïs et concilier le stockage du maïs avec les volumes moins importants des autres cultures d'été. Ainsi les coopératives peuvent accepter des petits volumes de productions « atypiques » comme du sarrasin,

du pois, du pois jaune, etc. mais ne peuvent pas envisager d'augmenter significativement les productions, surtout qu'il n'existe selon elles que peu de débouchés.

La production de soja a particulièrement le vent en poupe actuellement, car, comme cela a été souligné précédemment, la rentabilité est actuellement équivalente à celle du maïs, cette culture est techniquement facilement accessible pour les agriculteurs et la demande pour l'alimentation humaine et animale augmente, en particulier pour du soja non OGM, tracé et issu de filières locales.

Par contre, les autres cultures telles que le pois, le tournesol ou encore le sorgho ne sont pas des cultures dynamiques et porteuses pour l'avenir selon les coopératives, à cause des variabilités de rendement pour le pois, la destruction des récoltes par les palombes pour le tournesol en Haute-Garonne, ou encore des difficultés techniques liées au désherbage pour le sorgho, etc.

En particulier, une des coopératives rencontrées a souligné que toutes les coopératives recherchent activement des marchés de niche à développer, à haute valeur ajoutée, afin de contractualiser avec les agriculteurs et de pérenniser l'activité agricole. Pour l'instant, cette stratégie a surtout conduit la coopérative en question à proposer des maïs « spéciaux » tels que le maïs blanc ou le maïs popcorn.

6.6.2.4 Appuyer la coordination des acteurs de la filière

La coordination des différents acteurs de la filière paraît être un élément essentiel du développement des filières de diversification. L'intégration via notamment la contractualisation des producteurs, organisés par ailleurs, permet de diminuer les risques liés au lancement d'une nouvelle culture pour ces derniers. En effet, avec la fixation du prix, elle peut en partie réduire les incertitudes et entraîner une logique pluriannuelle.

Il existe de nombreuses initiatives territoriales portées par des acteurs locaux, notamment dans le Sud-Ouest, dont certaines ont déjà été signalées précédemment. On peut citer également différentes filières de légumineuses (ex : pois protéagineux, pois chiche, lentilles, haricots) en plein développement, en cette année internationale des légumes secs. Par exemple la coopérative Qualisol dans le Tarn-et-Garonne a développé depuis 2012 des filières de légumes secs AB. Le développement de ces filières a été soutenu par :

- la mise en place d'une MAEt dont l'objectif est de réduire l'indicateur de fréquence de traitement phytosanitaire (IFT)
- le renforcement du conseil technique aux agriculteurs.

Cette coopérative a actuellement 2 700 adhérents et assure la commercialisation elle-même à travers une marque propre (19).

Les différentes initiatives identifiées reposent sur la création de débouchés liés à une reconnaissance de qualités spécifiques, nutritionnelles, environnementales ou liées à l'origine. La valeur ajoutée, et donc la différenciation due à ces qualités identifiées, entraîne néanmoins des frais de transaction qui doivent être compensés par une bonne coordination de ces filières. Cette coordination peut progressivement s'étendre aux acteurs de l'amont de la filière (sélectionneurs, recherche, etc.).

L'AEAG encourage déjà cette coordination entre acteurs en finançant des projets intégrés et territoriaux (voir par exemple

Encadré 5).

Encadré 5 : La coopérative Nouste Ekili et le tournesol

L'Agence a déjà financé par exemple un projet de soutien aux filières tournesol et colza portées par la coopérative Noustek Ekili au pays basque. Le projet a été motivé au départ par la nécessité d'améliorer l'autonomie des exploitations en matière d'alimentation animale grâce à la production de tourteau. Puis la nécessité d'avoir des cultures moins exigeantes en eau, et le développement de filières locales de biocarburant et d'huile de table sont venus encourager encore le développement du projet. Aujourd'hui la coopérative compte 25 producteurs, possède 3 presses et assure le conseil technique aux producteurs intéressés par ces cultures.

Dans le cadre des Plans de Développement Rural Régionaux (PDRR), la mesure coopération (mesure 16) peut être mobilisée par les régions pour soutenir la structuration des filières locales. Par exemple, en juin 2016 la région Midi-Pyrénées a ouvert un appel à projet pour soutenir le développement de filières territorialisées dans la cadre de cette mesure dans l'objectif notamment de « *Valorisation de la production agricole alimentaire et non-alimentaire sous l'angle de la durabilité (triple performance écologique, économique et sociale) appuyée sur des méthodes de productions vertueuses au plan de la gestion quantitative ou qualitative de l'eau, de la protection des sols et d'économies d'intrants et sur la biodiversité du territoire* »¹⁰.

6.6.3 Les aides pour accompagner la diversification des assolements

6.6.3.1 La réforme du 1^{er} pilier de la PAC et les mesures de verdissement

Les paiements directs ont désormais une partie des versements conditionnée au respect de 3 mesures de verdissement de la PAC : les prairies permanentes, les surfaces d'intérêt écologiques (SIE) et la diversification des assolements. Les deux dernières mesures peuvent encourager la diversification des assolements, de la manière suivante :

Dans le cas de la mesure SIE, les exploitants doivent maintenir ou établir des SIE sur l'équivalent de 5 % de sa surface en terres arables. Une liste des éléments considérés comme SIE en France a été arrêtée et les surfaces portant des plantes fixant l'azote en font partie. Il s'agit notamment des surfaces en soja et pois ;

Dans le cas de la mesure de diversification des assolements, l'agriculteur doit cultiver sur ses terres arables plusieurs cultures différentes. Le nombre de cultures dans l'assolement dépend de la surface en terres arables de l'exploitation : si cette surface est comprise entre 10 et 30 ha, il s'agit d'avoir deux cultures dans l'assolement, au-delà de 30 ha, 3 cultures différentes sont nécessaires. La proportion des différentes cultures dans l'assolement et certaines règles de mise en œuvre sont définies dans la réglementation européenne.

La France est un des rares Etats-Membres de l'UE à avoir mis en place une pratique équivalente à cette mesure de diversification des assolements, via la mise en place d'une certification. Le cahier des charges de cette certification se base sur un cahier des charges établi par le MAAF, à la demande de l'Association Générale des Producteurs de Maïs et acceptée par la commission européenne, considérant que les bénéfices environnementaux de cette certification sont équivalents à ceux de la mesure de diversification. Dans le cadre de cette certification, les exploitations agricoles spécialisées dans la production de maïs (exploitations de plus de 10 ha dont 75 % de la surface arable est cultivée en maïs) doivent planter un couvert hivernal sur l'ensemble des terres arables, au plus tard 15 jours après la récolte de maïs et respecter les deux autres mesures du verdissement. Néanmoins,

¹⁰ <http://www.europe-en-irmp.eu/FEADER/#M16>

d'après l'entretien réalisé avec Maisadour, il semble que la majorité des producteurs de maïs ait opté pour l'intégration d'une culture de diversification, particulièrement le soja, plutôt que l'implantation d'un couvert hivernal, en raison de concurrence en termes de calendrier entre la récolte de maïs et l'implantation du couvert. Seuls les producteurs de maïs semence et ceux produisant du maïs destinés au gavage des canards ont choisi la certification maïs.

6.6.3.2 Les aides couplées

Dans le cadre du règlement européen des paiements directs, suite à la réforme de 2014, 13 % des aides directes d'un Etat-Membre peuvent être consacrées à des aides couplées, accordées à tout secteur pour des raisons économiques ou pour des raisons environnementales, à condition d'être dans la liste prévue par le texte communautaire. Par ailleurs, 2 % supplémentaires pour la production de protéines végétales peuvent être ajoutés. La France mobilise effectivement 15 % de l'enveloppe des aides directes depuis 2015 pour le soutien de productions animales et végétales particulières, dont notamment deux des cultures étudiées ici et une des cultures de la fiche 14 :

- le soja, pour soutenir l'indépendance protéique de la France et de l'UE, avec une aide de 100 à 200 €/ha de soja (enveloppe dédiée d'environ 5.8 M€/an pour le soja) ;
- les protéagineux, dont le pois, avec une aide de 100 à 200 €/ha (enveloppe dédiée d'environ 5.8 M€/an pour l'ensemble des protéagineux) ;
- le blé dur pour maintenir des surfaces cultivées en blé dur de qualité dans les zones traditionnelles de production (régions PACA, Languedoc-Roussillon, Midi-Pyrénées, Drôme et Ardèche) correspondant à une aide d'un montant de 25 €/ha (enveloppe dédiée d'environ 6.8 M€/an pour le blé dur).

Chacune des aides sont attribuées sous condition de respect de critères d'éligibilité (par exemple pour le blé dur : fixation d'un nombre de graines certifiées par parcelle, date limite de semis, fixation d'une liste de semences, etc.).

6.6.3.3 Le second pilier : les mesures agro-environnementales et climatiques

Le dispositif proposé par la Commission européenne reste dans une **approche spatiale et annuelle**. La **dimension temporelle de la diversification des cultures** peut, elle, être intégrée dans le cadre du second pilier à travers des Mesures Agro-Environnementales et Climatiques (MAEC).

Sur la période de programmation 2007-2013, trois Mesures Agroenvironnementales territorialisées avaient été mises en place :

- La MAE irrig_02 avait pour objectif la fermeture de points de prélèvements d'eau souterraine et la suppression de l'autorisation de prélèvement pour l'agriculteur souscrivant cette MAEt. Ce dernier était incité à remplacer les cultures irriguées par des cultures sèches sur une partie de son assolement. Cette MAEt a été mobilisée uniquement en Poitou-Charentes et 1 000 ha y ont été souscrits. Cette mesure n'a pas été reconduite pour la programmation 2014-2020.
- Les MAE irrig_04 et irrig_05 visaient, quant à elles, à introduire une légumineuse en substitution du maïs dans la rotation sur une part minimale de la surface irrigable de l'exploitation agricole. Entre 2011 et 2013, 4 000 hectares ont été souscrits, uniquement sur la mesure irrig_04. A notre connaissance, ces MAEt ont été ouvertes

à la contractualisation dans les régions Midi-Pyrénées, Aquitaine, Rhône-Alpes et Alsace sur la période 2007-2013 et des contractualisations n'ont été réalisées qu'en Midi-Pyrénées et concernaient particulièrement la culture de soja. Ces mesures sont reconduites pour la période 2014-2020 et sont intégrées notamment dans les PDR des régions Aquitaine, Midi-Pyrénées, Poitou-Charentes et Languedoc-Roussillon, avec des montants d'aide régionalisés.

Pour la période de programmation actuelle (2014-2020), une nouveauté réside dans l'introduction de MAEC systèmes¹¹ qui concernent la totalité de l'exploitation agricole. Ils existent des MAEC systèmes herbagers et pastoraux et des MAEC systèmes grandes cultures. Les premières encouragent le maintien d'exploitation d'élevage extensive, tandis que les secondes soutiennent la diversification des assolements et l'adoption de rotations culturales. Si les MAEC systèmes grandes cultures visent principalement à réduire l'usage des produits phytosanitaires et rationaliser la fertilisation azotée, en encourageant la diversification des assolements elle peut induire l'introduction dans l'assolement de cultures alternatives au maïs moins consommatrices en eau. Actuellement, les régions Poitou-Charentes et Midi-Pyrénées ont intégré la mesure SGC_01 dans leur PDRR.

Une étude, intitulée « Economiser l'eau pour l'irrigation en agriculture : analyse comparée de politiques publiques et pistes d'amélioration en France », conduite par Oréade-Brèche pour le MAAF et le MEEM est en cours de réalisation. Cette étude vise à produire des références sur les politiques publiques ciblant les irrigants afin de réduire les prélèvements d'eau par l'agriculture en France, dans d'autres Etats membres de l'UE et d'autres pays hors UE, afin d'en faire une comparaison et d'identifier les approches innovantes pouvant servir à proposer des améliorations de la politique publique française.

6.6.3.4 Le plan protéines végétales pour la France 2014-2020

La France et l'UE de manière plus générale sont très dépendantes de l'importation de protéines et en particulier de soja pour l'alimentation animale. Dans un contexte de demande grandissante de produits carnés entraînant une augmentation de la demande en protéines végétales, la France a mis en place le plan protéines végétales 2014-2020 pour améliorer son autonomie protéique. Ces objectifs sont les suivants :

1. Sécuriser les rendements ;
2. Intégrer dans les assolements des cultures riches en protéines ;
3. Sécuriser les débouchés ;
4. Améliorer la concertation entre les différents acteurs de la filière.

Ce plan s'articule en 3 axes :

- L'axe 1 soutient le développement de la production agricole. Il contient les aides couplées du premier pilier, les mesures de verdissement de la PAC et les MAEC, ainsi que le programme ambition bio 2017. Ces aides sont détaillées ci-dessous. Il comporte aussi des aides à l'investissement pour l'amélioration de la compétitivité et d'adaptation des exploitations d'élevage (PACAE du 2ème pilier) et les

¹¹ <http://agriculture.gouv.fr/maec-les-nouvelles-mesures-agro-environnementales-et-climatiques-de-la-pac-2015>

investissements dans les outils de transformation (aide du 2nd pilier et de FranceAgrimer dans le cadre des projets agricoles et agro-alimentaires d'avenir) ;

- L'axe 2 vise à favoriser et aider la recherche sur les semences des protéagineux ;
- L'axe 3 concerne le renforcement de la gouvernance des acteurs.

6.6.4 Conclusion sur les freins et leviers

Cette analyse des freins et leviers met en évidence le verrouillage technico-économique autour du maïs dans le Sud-Ouest de la France, freinant le développement de cultures plus mineures, sur la base des travaux de l'INRA (2014).

En particulier, la diversification des assolements constitue **une prise de risque pour l'exploitant agricole et nécessite une phase d'apprentissage** avant que l'agriculteur maîtrise les nouvelles pratiques.

Dans ce cadre, les principaux freins et leviers identifiés à l'échelle de l'exploitation sont les suivants :

- Le manque de référentiels technico-économiques pour accompagner ce changement de pratiques est un frein important, qui pourrait être pallié par le développement et la diffusion de référentiels technico-économiques à l'échelle des systèmes de cultures.
- La méconnaissance des structures d'accompagnement sur certaines cultures, qui pourrait être comblée par des formations des conseillers ;
- Les dynamiques collectives favorisent aussi l'apprentissage et pourraient être soutenues.

A l'échelle de la filière, les cultures étudiées dans la fiche ne rencontrent pas les mêmes freins et leviers. Par exemple, certaines cultures se placent sur des marchés très concurrentiels tandis que d'autres correspondent plus à des marchés de niches. Par ailleurs, l'aval axe principalement son développement sur des filières lui permettant des économies d'échelles grâce à la production de volumes importants afin d'assurer sa rentabilité et réduire ses coûts logistiques. Cependant, les coopératives se tournent de plus en plus vers le développement de marchés à plus haute valeur ajoutée et vers les démarches de valorisation de la qualité, permettant la contractualisation avec des agriculteurs et la pérennisation des exploitations agricoles. Dans ce cadre, le soutien au développement de filières territorialisées est essentiel.

En particulier, le soja est prometteur dans l'avenir pour les acteurs économiques du territoire, grâce à la demande croissante des consommateurs sur les marchés de l'alimentation humaine et animale pour des produits de qualité, traçés et sans OGM et la mise en place des plans protéines.

7 Synthèse de l'action

La substitution de culture de printemps irriguée, en particulier le maïs, par des cultures d'hiver et/ou des cultures de printemps moins consommatrices d'eau, vise à adapter l'assolement des exploitations, principalement dans les situations où les volumes d'eau d'irrigation disponibles sur les territoires sont contraignants, en général dans une stratégie de long terme¹². La quantification des économies d'eau résultant de cette action dépend des assolements avant et après substitution de cultures et de nombreuses combinaisons de cultures peuvent ainsi être considérées, **le potentiel d'économie d'eau d'irrigation allant de 100 % en cas de substitution par des cultures conduites en sec à une réduction d'un tour d'eau lors de l'introduction de soja en substitution au maïs**.

Le travail réalisé durant l'étude a permis d'identifier des projets de recherche, des expérimentations ou des modèles permettant la simulation des performances agronomiques, économiques et environnementales de divers assolements. De manière synthétique, ces projets montrent qu'en l'absence de contrainte d'accès à l'eau, les agriculteurs favorisent souvent des systèmes centrés sur la production de maïs irrigué, cette culture présentant généralement une rentabilité supérieure aux autres cultures, en se basant sur des systèmes en monoculture ou en rotations courtes.

Cependant, des travaux récents montrent que certains systèmes diversifiés, basés sur des rotations longues, peuvent être aussi rentables que ces systèmes, en particulier en cas de contrainte d'accès à l'eau. La réduction voire la suppression de l'irrigation réduit la charge de travail liée à l'irrigation, ce qui peut être intéressant pour certains agriculteurs, et réduit l'impact de la fluctuation des prix agricoles sur les revenus de l'exploitation. Par ailleurs, les travaux montrent souvent une amélioration de la durabilité agronomique, sociale et environnementale en cas de diversification des assolements.

La diversification des assolements se heurte cependant à un verrouillage technico-économique fort lié à une structuration historique des filières autour de la production du maïs. Certains des freins rencontrés pourraient cependant être atténués par l'élaboration et la diffusion de référentiels technico-économiques portant sur des assolements plutôt que des cultures, l'accompagnement des démarches collectives d'agriculteurs, la formation des conseillers agricoles, l'appui à la structuration de filières de qualité et locales, etc.

Actuellement, les dynamiques locales de diversification concernent essentiellement le développement de la culture de soja, en raison de l'augmentation de la demande pour des filières tracées, de qualité et sans OGM, ainsi que du contexte réglementaire appuyant son développement. Cette culture, majoritairement irriguée, n'est cependant pas nécessairement la plus intéressante du point de vue des économies d'eau qui sont d'environ 25 mm pour le soja, alors qu'elles atteignent par exemple environ 100 mm pour le sorgho, le tournesol et le pois. De plus, la période d'irrigation du soja est identique à celle du maïs, contrairement à d'autres cultures qui ont des besoins plus ponctuels et plus tôt dans la saison. Les autres cultures, en particulier les céréales en paille, ont, selon les entretiens réalisés avec les coopératives, peu de perspective de développement de marché à l'heure actuelle.

Etant donné la complexité de l'action considérée dans cette fiche, il est difficile de proposer un potentiel de développement sur cette action pour évaluer un gisement potentiel d'économie d'eau dans le cadre de cette étude, dans la mesure où cela nécessiterait de

¹² A noter que le maïs peut aussi être conduit avec une réduction d'un tour d'eau par rapport au « bien irrigué ». On remplace alors un maïs « bien irrigué » par un maïs « moins irrigué ».

proposer des hypothèses d'assolements-types réalistes aussi bien d'un point de vue agronomique qu'économique. La diversité des milieux est évidemment à prendre en compte. Pour établir ces hypothèses, un travail plus approfondi devrait être réalisé pour synthétiser et comparer les résultats des travaux de recherche, en ayant accès aux données et hypothèses sous-jacentes à ses travaux, pour être en mesure de les comparer et les valoriser. Le travail en cours chez Arvalis de co-construction de scénarios d'évolution des assolements constituera aussi un apport important pour estimer quantitativement le potentiel de cette action.

8 Bibliographie

1. **DRAAF LRMP-SRISET**. Typologie des exploitations irrigantes en Adour-Garonne en 2010 (à paraître). s.l. : DRAAF LRMP, 2016.
2. **Terres Inovia**. *Soja : guide de culture 2016*. s.l. : Terres Inovia, 2016. p. 24.
3. **ARVALIS**. Choisir et décider. Sorgho : Variétés et interventions. Synthèse nationale. 2015. p. 3.
4. **Deumier J-M, Lacroix B., Marsac S., Bouthier A. et Mangin M.** Irrigation: Le maïs plus productif que le sorgho en situation modérément restrictive. *Perspectives Agricoles n°380*. juillet 2011 2011, N°380 , pp. 60-61.
5. **Terres Inovia**. *Tournesol : Guide de culture 2016*. s.l. : Terres Inovia, 2016. p. 32.
6. **ARVALIS**. Irrigation des céréales à paille 2015-2016 - Coll. Choisir les céréales. s.l. : ARVALIS - site internet, 2015.
7. **Terres Inovia**. *Pois : guide de culture 2015*. s.l. : Terres Inovia, 2015. p. 28.
8. —. Colza : irrigation. *Terres Inovia*. [En ligne] 2015. <http://www.terresinovia.fr/colza/cultiver-du-colza/irrigation/>.
9. **ARVALIS**. *Irrigation du colza : possible à plusieurs stades*. s.l. : ARVALIS, 2014. Colloque au Champ - Irrigation 2014 Le Magneraud.
10. **Doré T.** L'assolement : acceptions et problématiques agronomiques actuelles. [éd.] INRA. *Agriculture, Environnement et Sociétés*. décembre 2012, Vol. 2-2, pp. 17-27.
11. Réduction d'intrants : des systèmes alternatifs à la monoculture de maïs. **MILOU**. avril 2013, CULTIVAR, p. 4.
12. **Arneau et Minette**. Systèmes de cultures innovants en Poitou-Charentes : produire autrement par de nouveaux systèmes de culture à bas niveau d'intrants durables et préservant la ressource en eau. Chambres d'Agriculture Aquitaine Limousin Poitou-Charentes. 2016.
13. *Le pois protéagineux : un atout dans vos rotations*. **Arvalis**. s.l. : Quoi de neuf protéagineux? Arvalis/UNIP, novembre 2012, 2012.
14. Coûts de l'irrigation en Midi-Pyrénées. **Arvalis et CRAMP**. 2005. Diaporama.
15. **Meynard, Messéan, Charrier, Farès, Le Bail et Magrini**. *La diversification des cultures : lever les obstacles agronomiques et économiques*. s.l. : Editions Quae, 2014. pp. pp 7-29.
16. **Hébert N., Grandmougin B. , Loubier S., Graveline N., Marsac S., Amen J-F , Brunel L.** Réforme des autorisations de prélèvement dans le bassin Adour-Garonne : impacts sur l'économie agricole. *Agronomie, Environnement et Société*. 2012, Vol. 2, 2.
17. **Chambre des Landes**. RECHERCHE DE L'AUTONOMIE fourragère et proteique en Sud Aquitaine. Aquitaine : s.n., 2010.
18. La diversification des assolements en France: intérêts, freins et enjeux. **Schaller, N.** 51, s.l. : Analyse du CEP, MAAF, 2012.
19. **Solagro, Réseau Action Climat**. Les légumes secs: Quelles initiatives territoriales. 2016.
20. **Milou, C.** Des systèmes alternatifs à la culture de maïs. *Cultivar*. 2013.

21. **Chambre Régionale d'Agriculture Poitou-Charentes.** Projet régional « Développement de systèmes de culture innovants en Poitou-Charentes » . *Lettre d'information n°4*. Novembre 2013.
22. **Chambre Régionale d'Agriculture de Midi-Pyrénées.** Grandes cultures biologiques. Quelles rotations-types en Midi-Pyrénées? 2015.
23. **Bergez, J.E et Lacroix, B.** Gestion de l'irrigation : du stratégique au tactique. *Innovations Agronomiques* . 2008, 2.
24. **Chambre Régionale d'Agriculture de Midi-Pyrénées.** *Références technicoéconomiques Grandes cultures Résultats 2009*. Toulouse : s.n., 2009.
25. **De La Perrière F., Terres d'alliances.** Les atouts du soja. s.l. : CETIOM - Rencontres Techniques Régionales Soja, n.c.
26. **Pagnot O.** *Impact économique de l'irrigation sur les activités de production de denrées agricoles*. s.l. : Chambre d'agriculture de la Vienne et Association des irrigants de la Vienne, 2016.
27. **Chambre d'Agriculture Poitou-Charentes.** *Systèmes Grandes Cultures en Poitou-Charentes*. s.l. : Inosys, 2013.
28. **Chambre d'Agriculture Haute-Garonne.** *Référentiel technico-économique*. 2011.
29. **Chambre Régionale d'Agriculture Midi-Pyrénées.** *Référentiel technico-économique en Grandes Cultures*. 2007.
30. **Colas-Belcour F., Renoult R. et Vallance M.** *Synthèse Eau et Agriculture. Tome 1 : Aspects quantitatifs*. s.l. : CGAAER, 2015. Rapport n°14061.
31. **Agreste.** Les indicateurs de fréquence de traitement en 2011. Les Dossiers n°18 s.l. : Les dossiers N°18. Novembre 2013, 2013. p. 5.
32. **Daniel J-B.** Conséquences sur les filières agricoles et agroalimentaire de l'atteinte des objectifs quantitatifs de la DCE et du SDAGE dans le bassin Adour-garonne. s.l. : CGAAER, 2011. CGAAER n°10181.
33. **Leveau V., Marsac S. et Leroy, P.** Choix d'assolement : exemples de mise en oeuvre d'outils d'aide à la décision. *Agronomie, Environnement et Sociétés*. 2012, Vol. 2, 2.
34. **Pages B. et Marsac S.** Assollement et irrigation : bien analyser les facteurs de risques. *Perspectives Agricoles*. Avril 2015, n° 421, p. 5.
35. **Debaeke P., Willaume M., Casadebaig P. et Nolet J.-M.** Raisonner les systèmes de culture en fonction de la disponibilité en eau. *Innovations Agronomiques*. 2008, 2.
36. **Rucheton G., Morardet S., Ruelle P., Fusilier J-L et Fabre J.** *L'adaptation de l'agriculture à la disponibilité de la ressource en eau : le cas de la Drôme des Collines*. MAAF / Centre d'études et de prospective. s.l. : MAAF , 2015. p. 82, Note n°39. Notes d'études socio-économiques n°39 Avril 2015.
37. **Lecomte S.** Tournesol et sorgho, des cultures alternatives au maïs grain irrigué ? Juin 2008. pp. 3-4.
38. **Jacquin C. , Deumier J.M., Leroy P. .** LORA et la gestion de l'eau dans l'exploitation agricole. *Perspectives Agricoles*. 1993, 184.
39. **Marsac S. et Deumier J.-M.** Systèmes irrigués : LORA, un outil pour la réflexion sur les assolements et la gestion de l'eau. [éd.] ARVALIS. *Perspectives Agricoles*. mars 2010, Vol. n° 365.

Etude pour le renforcement des actions d'économies d'eau en irrigation dans le bassin Adour-Garonne « Synthèse des connaissances » - Action 10 : Substitution de la culture du maïs irrigué par d'autres cultures.

40. **Bonnet X., V. Fuzeau, G. Dubois, O. Thérond, G Allaire.** *Diversification des cultures dans l'agriculture française état des lieux et dispositifs d'accompagnement.* s.l. : Commissariat Général au Développement durable, 2012.

ANNEXE 1. L'irrigation de quelques grandes cultures en Adour-Garonne (RA 2010)

Tableau 6 : Nombre d'exploitations, surfaces et irrigation des principales « grandes cultures » de printemps (données : Agreste, RA 2010)

Code	Type Zone	Libellé Zone	Exploitations avec la culture			Exploitations irrigant la culture					Ratios			
			Nb exploitations ayant Culture :	Surface en ha de Culture :	SAU totale en ha	Nb exploitations irrigant la culture	Surface de la culture (ha)	Surface irriguée de la culture (ha)	Surface irriguée totale (ha)	SAU totale (ha)	% EA qui l'irrigue	Surf de cult irriguée / culture	surf irriguée / surf totale cult	% surf cult irriguée / surf totale irriguée de ces EA
Maïs grain et semences														
05	Bassin Versant	ADOUR-GARONNE	35 467	598 884	2 071 216	14 885	416 578	352 113	450 345	1 201 079	42%	85%	59%	78%
54	Region	Poitou-Charentes	9 092	166 428	912 737	3 023	105 164	86 435	126 767	417 672	33%	82%	52%	68%
72	Region	Aquitaine	17 774	336 477	832 255	6 590	215 004	171 876	218 528	445 728	37%	80%	51%	79%
73	Region	M. Pyrénées	11 288	160 279	696 996	6 231	135 180	126 049	159 988	502 619	55%	93%	79%	79%
Soja														
05	Bassin Versant	ADOUR-GARONNE	2 687	31 662	238 772	1 701	22 774	20 758	57 739	164 475	63%	91%	66%	36%
54	Region	Poitou-Charentes	46	420	6 007	24	300	290	1 358	3 786	52%	96%	69%	21%
72	Region	Aquitaine	892	10 774	68 681	459	6 491	5 215	15 934	39 132	51%	80%	48%	33%
73	Region	M. Pyrénées	1 759	20 632	165 618	1 220	16 051	15 323	40 794	122 438	69%	95%	74%	38%
Sorgho														

Etude pour le renforcement des actions d'économies d'eau en irrigation dans le bassin Adour-Garonne « Synthèse des connaissances » - Action 10 : Substitution de la culture du maïs irrigué par d'autres cultures.

05	Bassin Versant	ADOUR-GARONNE	3 639	25 705	303 141	601	5 609	4 658	17 666	60 170	17%	83%	18%	26%
54	Region	Poitou-Charentes	472	3 694	54 778	54	778	620	2 771	8 674	11%	80%	17%	22%
72	Region	Aquitaine	873	6 139	66 251	148	1 365	1 099	5 286	13 571	17%	81%	18%	21%
73	Region	M. Pyrénées	2 498	7 754	210 699	429	3 788	3 195	11 227	42 123	17%	84%	18%	28%
Tournesol														
05	Bassin Versant	ADOUR-GARONNE	23 783	366 858	1 790 641	1 282	19 429	11 903	51 597	121 571	5%	61%	3%	23%
54	Region	Poitou-Charentes	11 175	180 677	1 075 081	361	8 158	4 515	20 256	52 619	3%	55%	2%	22%
72	Region	Aquitaine	4 761	57 304	332 542	402	3 982	2 719	17 428	31 023	8%	68%	5%	16%
73	Region	M. Pyrénées	11 772	195 047	861 434	685	10 709	6 632	24 114	65 466	6%	62%	3%	28%

Tableau 7 : Nombres d'exploitations, surfaces des cultures dont surfaces irriguées pour les céréales à paille (Source : RA 2010)

C o d e	Type Zone	Libellé Zone	Exploitations avec la culture			Exploitations irrigant la culture					Ratios			
			Nb exploitations ayant Culture :	Surface en ha de Culture :	SAU totale en ha	Nb exploitations irrigant la culture	Surface de la culture (ha)	Surface irriguée de la culture (ha)	Surface irriguée totale (ha)	SAU totale (ha)	% EA qui l'irrigue	Surf irriguée culture /	surf irriguée / surf totale culture	% surf cult irriguée / surf totale irriguée de ces EA
Blé tendre														
05	Bassin Versant	ADOUR-GARONNE	36 822	491 012	2 571 143	368	12 765	5 858	23 682	50 240	1%	46%	1%	25%

Etude pour le renforcement des actions d'économies d'eau en irrigation dans le bassin Adour-Garonne « Synthèse des connaissances » - Action 10 : Substitution de la culture du maïs irrigué par d'autres cultures.

54	Region	Poitou-Charentes	15 339	386 484	1 445 947	766	38 391	16 188	51 792	127 141	5%	42%	4%	31%
72	Region	Aquitaine	7 696	94 300	470 736	52	1 275	984	3 486	5 331	1%	77%	1%	28%
73	Region	Midi-Pyrénées	19 257	233 900	1 288 624	64	1 705	864	3 268	6 376	0%	51%	0%	26%
Blé dur														
05	Bassin Versant	ADOUR-GARONNE	7 832	166 274	758 786	314	7 058	4 584	17 970	45 776	4%	65%	3%	26%
54	Region	Poitou-Charentes	3 731	57 244	456 063	579	12 413	9 257	35 405	91 481	16%	75%	16%	26%
72	Region	Aquitaine	245	1 898	17 335	5	57	57	392	694	2%	100%	3%	14%
73	Region	Midi-Pyrénées	5 132	123 446	485 287	30	1 045	412	1 374	3 540	1%	39%	0%	30%
Autres céréales à paille														
05	Bassin Versant	ADOUR-GARONNE	34 379	245 010	2 443 464	266	4 098	2 634	14 239	33 691	1%	64%	1%	19%
54	Region	Poitou-Charentes	10 615	113 521	1 030 467	296	5 067	3 191	16 670	44 383	3%	63%	3%	19%
72	Region	Aquitaine	6 575	36 290	373 575	32	510	387	2 978	4 010	0%	76%	1%	13%
73	Region	Midi-Pyrénées	18 221	132 917	1 243 382	34	395	232	970	2 704	0%	59%	0%	24%

ANNEXE 2. Exemple de rentabilité « culture à culture » comparant le maïs irrigué, le blé tendre, le blé dur, l'orge, le colza et le tournesol pour les années 2007, 2009 et 2011 en Midi-Pyrénées et Haute-Garonne

		Nb parcelles de l'échantillon	Surface moyenne (ha)	Rendement moyen (qx/ha)	Charges opérationnelles (€/ha)	Prix de vente (€/qx)	Marge brute (€/ha)
Maïs irrigué	2007	304	7.66	104	630	18.9	1472
	2009	113	14	108	755	13.5	871
	2011	6	21.3	101	446	13	874
	Moyenne			104	610	15	1072
Blé tendre	2007	322	6.21	50	328	20.6	776
	2009	107	7	53	474	12.7	383
	2011	9	12.6	68	358	14	616
	Moyenne			57	387	16	592
Blé dur	2007	357	7.55	42	385	31.4	1029
	2009	85	9	50	529	15.3	351
	2011	14	23.3	56	417	19	664
	Moyenne			49	444	22	681
Orge	2007	87	6.63	48	335	17.8	599
	2009	50	6	43	328	11.7	183
	2011	2	16	51	349	12	238
	Moyenne			47	337	14	340
Colza	2007	182	7.13	25	411	28	402
	2009	60	9	30	479	23.8	282

Etude pour le renforcement des actions d'économies d'eau en irrigation dans le bassin Adour-Garonne
 « Synthèse des connaissances » - Action 10 : Substitution de la culture du maïs irrigué par d'autres cultures.

		Nb parcelles de l'échantillon	Surface moyenne (ha)	Rendement moyen (qx/ha)	Charges opérationnelles (€/ha)	Prix de vente (€/qx)	Marge brute (€/ha)
	2011	3	25.6	29	482	31	431
	Moyenne			28	457	28	372
Tournesol	2007	260	7.98	23	260	37.6	751
	2009	260	7.98	23	260	37.6	751
	2011	11	22	24	264	35	583
	Moyenne			23	261	37	695

Source : référentiels technico-économique de la chambre régionale d'Agriculture de Midi-Pyrénées (2009 et 2011) et de la Chambre d'Agriculture de Haute-Garonne (2007)

ANNEXE 3. Quantification économique de l'effet précédent du pois sur le blé (Arvalis, 2012)

Arvalis, en se basant sur une analyse statistique de base de données constituées de résultats d'enquêtes parcellaires CER France sur 9 à 18 années (soit 36 000 parcelles de blé), a confirmé un effet du pois sur le rendement du blé qui suit sa culture, y compris en fertilisation azotée. Le facteur précédent a pu être isolé en travaillant dans 7 petites régions agricoles, homogènes pour le potentiel de rendement, sur un nombre d'années suffisantes pour supprimer l'effet de la variabilité climatique interannuelle et sur un nombre suffisant de parcelles pour prendre en compte la variabilité des pratiques utilisées entre les parcelles et les exploitations agricoles. Cette étude montre un gain de +8.4 quintaux par hectare pour une rotation blé sur pois par rapport à une rotation blé sur blé, une réduction de 20 à 60 kg d'azote par hectare et une moindre consommation d'énergie.

En se basant sur ces données, une modélisation des écarts des charges opérationnelles liées aux contrôles des adventices (vulpin) entre plusieurs rotations a été réalisée par Arvalis. Les résultats montrent l'intérêt de l'introduction du pois de printemps ou d'hiver, avant ou à la place du colza, dans des rotations colza/blé tendre/orge hiver, avec une réduction de charges liés à l'enherbement de 15 à 35 €/ha/an par rapport au témoin.

Dans tous les cas d'étude et de contextes de prix et d'aides considérées, l'insertion du pois permet d'obtenir une marge équivalente ou supérieure à celle de la succession sans pois. Pourtant dans les analyses de marge par culture, les marges de la culture seule du pois sont toujours inférieures.

Tableau 8 : Ecarts de charges modélisées liées au contrôle des adventices entre plusieurs systèmes de culture (€/ha/an) (Source : Arvalis, 2012)

	Moselle		Bourgogne	
	Ecart en €/ha/an	Risque graminées résistantes de	Ecart en €/ha/an	Risque graminées résistantes de
Colza-blé-orge hiver-(labour)-colza-blé-orge hiver	Témoin	Moyen	Témoin	Faible
Colza-blé-orge hiver - colza-blé-(labour)-orge printemps	- 21	Moyen	+ 2	Faible
Colza-blé-orge hiver-(labour)-pois printemps -blé-orge hiver	- 26	Faible	- 18	Faible
(labour)-colza-blé-orge hiver-pois hiver- blé- orge hiver	Non étudié		- 16	Faible
colza-blé-orge hiver-(labour)-tournesol- blé- orge			- 20	Faible

Etude pour le renforcement des actions d'économies d'eau en irrigation dans le bassin Adour-Garonne
 « Synthèse des connaissances » - Action 10 : Substitution de la culture du maïs irrigué par d'autres cultures.

hiver				
colza-blé-(labour)-pois printemps- colza- blé- orge hiver	- 35	Faible	- 19	Faible

ANNEXE 4. Détails de quelques résultats d'essais et d'expérimentations sur la rentabilité de systèmes de cultures alternatifs

8.1.1.1.1 Mic-Mac design et le projet MAESTRIA

Ces projets fonctionnent en synergie pour « permettre aux agriculteurs de disposer de solutions techniques écologiquement intensives, ie respectant les différents compartiments de l'environnement, fournissant des produits sains et en quantité, économiquement viables et socialement équitables pour les agriculteurs ».

Mic-Mac Design¹³, 2010-2014, a été financé par le programme Systerra¹⁴ de l'ANR repose sur un partenariat composé de 3 unités de recherche de l'INRA (UMR AGIR, UR BIA et UMR EGC), 2 unités de service de l'INRA (US Agro Impacts et US Agroclim) et 1 unité expérimentale (Domaine Expérimental INRA de Toulouse – Auzeville), 2 établissements d'enseignement supérieur et de recherche en agronomie (Ecole d'Ingénieurs de Purpan et ENFA), 1 laboratoire de recherche (LEREPS), 2 instituts techniques agricoles (ARVALIS et CETIOM) et 1 unité mixte de recherche du CNRS (CESBIO). Il vise à la conception et évaluation par l'expérimentation et la modélisation de prototypes de systèmes de culture intégrés à bas niveaux d'intrants.

Le projet MAESTRIA « Mise au point et évaluation de systèmes de cultures économes en intrants et durables » est porté par l'EI Purpan et les chambres d'agriculture de Midi-Pyrénées. Ce projet travaille sur l'élaboration « de solutions techniques écologiquement intensives, i.e. respectant les différents compartiments de l'environnement, fournissant des produits sains et en quantité, économiquement viables et socialement équitables pour les agriculteurs ». Le projet se base sur des stations d'expérimentations, pour tester des systèmes de culture diversifiés et faiblement consommateurs en intrants pour voir dans quelle mesure ils permettent de concilier les enjeux environnementaux et économiques pour les agriculteurs.

En particulier, un essai de longue durée a été mené sur le site expérimental de Lamothe pour comparer dix systèmes de cultures pour répondre à la problématique suivante : « **Comment valoriser et préserver la ressource en eau en conciliant une utilisation efficiente des quantités disponibles (eau du sol et quotas d'irrigation) et la restitution dans le milieu d'une eau de bonne qualité chimique ?** »

Les résultats préliminaires des expérimentations sur le Domaine de Lamothe conduites à l'école des Ingénieurs de Purpan montrent que le passage d'un système de culture conventionnel (i.e : monoculture de maïs irrigué conduit selon les principes de l'agriculture raisonnée) à un système de culture « innovant » (ie : monoculture de maïs incluant une plante de couverture ou rotation portant sur 3 à 6 cultures¹⁵ (Milou, 2013) ne s'accompagne pas

¹³ <http://www6.inra.fr/micmac-design>

¹⁴ <http://www.agence-nationale-recherche.fr/suivi-bilan/historique-des-appels-a-projets/appel-detail1/systerra-2009/>

¹⁵ telles que « Maïs- (avoine)-soja-blé (avoine+vesce) » ou « sorgho (avoine+vesce+ phacélie)-tournesol-féverole-(moutarde)-blé dur (avoine- pois de printemps-(moutarde)_blé tendre- (avoine+vesce) » ; ou des systèmes mis en œuvre dans des

Etude pour le renforcement des actions d'économies d'eau en irrigation dans le bassin Adour-Garonne « Synthèse des connaissances » - Action 10 : Substitution de la culture du maïs irrigué par d'autres cultures.

systématiquement d'une baisse de marge semi-nette (prenant en compte les frais de mécanisation) mais permet une meilleure gestion de la trésorerie en étalant les entrées de revenus dans le temps, ainsi qu'une meilleure répartition des temps de travail. Il faut aussi souligner que la mise en œuvre de certains systèmes nécessite également l'acquisition de nouveaux équipements, non précisés dans l'article.

Certains de ces scénarios ont pour objectif de réduire l'irrigation par rapport à la référence « maïs en agriculture raisonnée (MM1) », de -25% à -50%. Les premiers résultats disponibles ne font pas pour l'instant de lien entre la marge semi-nette et le niveau de réduction de l'irrigation.

8.1.1.1.2 « Systèmes de Grandes Cultures Intégrés »

Ce projet « Systèmes de Grandes Cultures Intégrés », de l'INRA de Toulouse existe depuis plus de 20 ans. Dans le cadre de ce projet Debeake (2008) montre qu'en situation contrainte vis-à-vis de l'accès à l'eau, les systèmes de monoculture de maïs irrigués ne sont pas les plus rentables pour les agriculteurs.

Le dispositif est basé sur l'analyse de différents systèmes de cultures placés dans des contextes de production différant par la disponibilité en eau d'irrigation, définis à partir de la réalisation d'une prospective régionale en Midi-Pyrénées. Il a comparé par exemple les quatre systèmes suivant :

- monoculture de maïs irriguée (100 % été), notée MA,
- monoculture de maïs utilisant des variétés précoces, conduite rationnée (densité de semis, irrigation et fertilisation moindre), notée MP (100 % été),
- rotation sorgho-tournesol-pois-blé dur (avec irrigation de complément, 50 % été), notée B
- rotation colza-blé dur-tournesol-blé dur (25 % cultures été, sans irrigation), notée C.

Des stratégies agronomiques contrastées ont été proposées pour chaque système; des règles de décision ont été construites pour le choix de cultures et de variétés, ainsi que pour les autres opérations culturales. Les systèmes ont été évalués à Auzeville pendant huit ans (1995-2002) en sol alluvial profond de texture argileuse à limono-argileuse (RU = 180 à 250 mm), selon une démarche combinant diagnostic agronomique, essais factoriels et simulation dynamique.

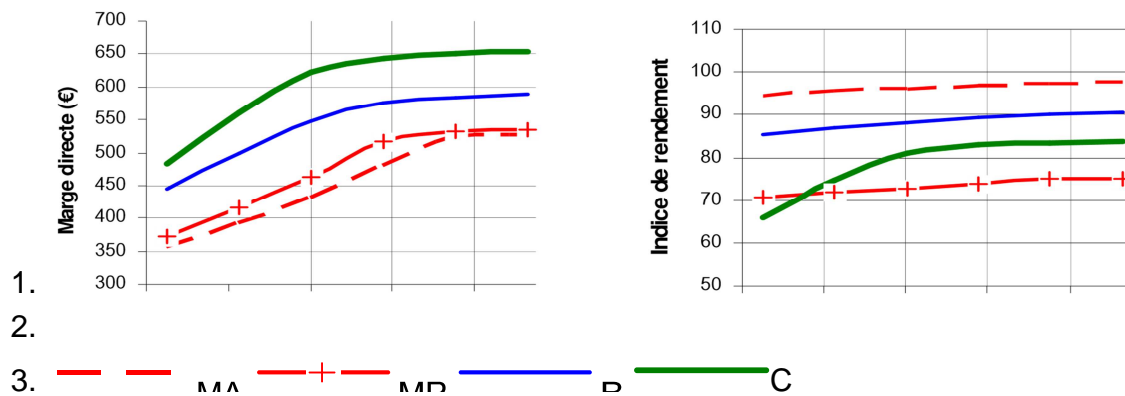
Voici ci-dessous quelques courbes de réponse (rendement, marge directe¹⁶, irrigation) des quatre systèmes de culture aux variantes de sol, de climat et de prix (Figure 9).

exploitations d'Ariège et des Hautes Pyrénées : « Maïs-(féverole) tournesol-blé tendre-colza (repousse colza) » et « Maïs semence-(avoine)-tournesol semence-blé tendre (couvert)_soja-blé tendre-(couvert)

¹⁶ produit brut – [charges opérationnelles + charges matérielles]

Etude pour le renforcement des actions d'économies d'eau en irrigation dans le bassin Adour-Garonne
 « Synthèse des connaissances » - Action 10 : Substitution de la culture du maïs irrigué par d'autres cultures.

Figure 9 : Marge directe et indice de rendement¹⁷, en fonction de la réserve utile (RU).
 (Contexte : prix 2005, climat moyen 1994-2007, eau à 0.75 €/mm)



¹⁷ % du rendement potentiel de chaque culture

Etude pour le renforcement des actions d'économies d'eau en irrigation dans le bassin Adour-Garonne « Synthèse des connaissances » - Action 10 : Substitution de la culture du maïs irrigué par d'autres cultures.

Dans ce contexte, quelle que soit la réserve utile, le système C (sans irrigation et avec une forte part de blé dur) apparaît le plus rentable. Le maïs irrigué de façon non limitée est le système le moins rentable. Le maïs précoce et rationné, en dépit de son faible indice de rendement, obtient des résultats économiques équivalents à MA. On note une rupture pour des valeurs de RU de 140 mm : en dessous de cette valeur, l'indice de rendement chute en système non irrigué, et la marge directe en système irrigué décroît également à cause des forts besoins d'irrigation satisfaits de façon coûteuse.

Les principaux déterminants économiques des rapports de forces entre les systèmes étudiés sont :

- le **prix de l'eau** : s'il augmente favorise les systèmes les plus économes en eau,
- le **prix des produits agricoles** : en cas d'augmentation, les systèmes économes en eau deviennent moins intéressants face à des systèmes très consommateurs d'eau mais très productifs. Néanmoins le **prix des intrants** peut atténuer ces effets voir les inverser.

8.1.1.1.3 Modèle Lora

Les simulations faites avec le modèle LORA permet de simuler des assolements prenant en compte les principaux aléas auxquels doit faire face l'agriculteur, en proposant des scénarios sur le climat, les prix agricoles et la stratégie d'irrigation. Arvalis a mené sur une exploitation Poitou-Charentes des simulations permettant d'évaluer la robustesse de différents assolements face à ces différents aléas, en se basant notamment sur l'utilisation du logiciel LORA. L'exploitation sur laquelle les simulations ont été réalisées a une sole de 100 ha irrigable, sur 180 ha au total. Les différents assolements étudiés ont été les suivants :

- a. 100% maïs sur la sole irrigable (irrigation 150 mm)
- b. Diversification d'été (introduction de sorgho, et tournesol sur 25 ha, irrigation de 60 mm)
- c. Diversification de printemps (introduction sur 25 ha dans l'assolement de pois et de blé tendre à part égale avec 60 mm d'irrigation et 150 mm sur 75ha de maïs)
- d. Mixte (introduction de blé, tournesol et sorgho sur 30 ha.

L'analyse statistique montre que la marge moyenne des assolements varie de **645 à 691 euros/ha**, aucun ne se dégage donc clairement. L'assolement 100% maïs est légèrement meilleur économiquement (marge + 38 euros/ha) en conditions favorables et se maintient en conditions défavorables. Mais l'assolement intégrant les cultures d'hiver réduit les risques liés aux arrêts d'irrigation. Dans cette étude, le volume prélevé est **contraint et constant (150 000 m³)**.

8.1.1.1.4 Systèmes de culture innovant, « substitution du maïs » dans les terres Groies irriguées (Charente) (21)

La Chambre Régionale de Poitou-Charentes a animé et coordonné de 2008 à 2015 des essais de longue durée afin d'obtenir des références technico-économiques sur des systèmes de

Etude pour le renforcement des actions d'économies d'eau en irrigation dans le bassin Adour-Garonne « Synthèse des connaissances » - Action 10 : Substitution de la culture du maïs irrigué par d'autres cultures.

culture innovants, en les comparant à des systèmes de culture « dominants » dans la région. Les expérimentations ont été menées sur 10 sites répartis sur le territoire et ont impliqué des agriculteurs volontaires. Ces systèmes de culture ont été comparés selon une approche multicritère basée sur l'utilisation de 28 critères : Environnementaux (15), économiques (7), agronomiques (3), sociaux (3). Le but était de co-construire avec les agriculteurs des systèmes économiques en intrants (chimiques, eau). Les analyses ont été réalisées avec le logiciel Systerre (Arvalis)

En Charente (Oradour) ont été comparés le système de culture dominant (monoculture de maïs grain et maïs grain 4 ans- orge de printemps) avec un système innovant, dans un contexte avec volume d'eau garanti et un autre avec un volume d'eau contraint. Le système innovant testé est le suivant (sur 5 ans): maïs grain-maïs grain-orge de printemps-Couvert végétal (sarrasin)-pois printemps-couvert végétal-blé dur-couvert végétal. Les changements concernent donc : une diversification (pois, blé dur, orge), 2 couverts avec objectif « récolte de grain », désherbage mécanique sur maïs grain, 3 labours sur 5 ans, 1 semis-direct, 1 implantation en TCS, un apport de compost.

Les résultats de l'analyse comparative sont les suivants :

- Une durabilité économique dégradée pour le système innovant (baisse de 25 à 40% de la marge semi-nette-hors aides : 845 euros/ha pour le SdCi et 1470+/-260 pour le système « monoculture maïs »).
- Des résultats intéressants pour des **exploitations soumises à des restrictions en eau** importantes : les résultats économiques sont alors équivalents entre les différents systèmes.
- Le système innovant devient aussi intéressant face aux aléas « prix de vente » et « prix de l'azote »

En conclusion il est avancé que la rotation a un intérêt agronomique et environnemental indéniable, sur la lutte contre les adventices par exemple, mais qu'il faut néanmoins conserver une bonne proportion de maïs pour maintenir une rentabilité économique optimale.

Du point de vue des économies d'eau, si le volume d'eau est garanti et abondant, la monoculture de maïs grain est souvent économiquement rentable pour un prix de vente compris entre 140 et 220 €/t. la consommation en eau d'irrigation est de 1800 m³/ha. Les systèmes étudiés permettent une économie d'eau sur la rotation de 6 ans de -8% à -33%, soit jusqu'à -600 m³/ha pour le système « SDCI Charente ». Dans les territoires soumis à des restrictions d'eau, le système « SDCI Charente » est satisfaisant du point économique et du point de vue des économies d'eau.

8.1.1.1.5 Etude de l'INRA sur la diversification des assolements (15)

Enfin on pourra citer **l'étude de l'INRA sur la diversification des assolements** (15) qui a procédé à une analyse bibliographique des travaux expérimentaux réalisés sur les cultures de diversification. Meynard et al. (2014) montrent que les références technico-économiques sont faites pour environ la moitié des références sur des analyses à l'échelle annuelle, celles-ci donnant des résultats économiques mitigés pour les cultures de diversification, en comparant les marges brutes annuelles de ces cultures à celles du blé, du colza ; par contre les analyses

Etude pour le renforcement des actions d'économies d'eau en irrigation dans le bassin Adour-Garonne « Synthèse des connaissances » - Action 10 : Substitution de la culture du maïs irrigué par d'autres cultures.

réalisées à l'échelle pluriannuelle indiquent systématiquement un intérêt économique positif de la culture de diversification.

8.1.1.1.6 Etude réalisée par la chambre régionale d'agriculture de Midi-Pyrénées sur les rotations-types en Midi-Pyrénées pour l'agriculture biologique (22).

Cette étude analyse la durabilité agronomique, environnementale, économique et sociale de différentes rotations :

- des rotations courtes ((i) soja/blé tendre, (ii) tournesol ou lin/blé tendre ou triticale, (iii) maïs/soja
- des rotations longues ((i) soja/blé tendre/maïs/blé tendre ; (ii) féveroles, (ii) blé tendre ; (iii) tournesol ; (iv) orge ou épeautre).

En moyenne, le temps passé sur chacun des assolements correspondant à ces rotations est équivalent mais les marges brutes hors aides sont en moyenne supérieures de 400 €/ha dans les rotations longues du fait **de charges inférieures** (moins usage du labour, un moindre besoin en apport azoté), et des **meilleurs produits moyens annuels** (rendement supérieur pour les céréales à paille) (22). A noter cependant que les systèmes étudiés en rotations longues consomment plus de deux fois plus d'eau que les rotations courtes (charges d'irrigation de 36.1 €/ha contre 15.3).