



HAL
open science

Connaissance, adaptation et amélioration de la gestion quantitative de l'eau avec des collectifs d'irrigants de Midi-Pyrénées

J.M. Deumier, B. Lacroix, S. Marsac, J. Georges, T. Baque, M. Fourcade, C. Longueval, J.J. Weber, J. Granier, Luc Champolivier, et al.

► To cite this version:

J.M. Deumier, B. Lacroix, S. Marsac, J. Georges, T. Baque, et al.. Connaissance, adaptation et amélioration de la gestion quantitative de l'eau avec des collectifs d'irrigants de Midi-Pyrénées. *Innovations Agronomiques*, 2012, 25, pp.165-178. 10.17180/p7pz-es89 . hal-02642756

HAL Id: hal-02642756

<https://hal.inrae.fr/hal-02642756v1>

Submitted on 28 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Connaissance, adaptation et amélioration de la gestion quantitative de l'eau avec des collectifs d'irrigants de Midi-Pyrénées

Deumier J.M.¹, Lacroix B.¹, Marsac S.¹, Georges J.², Baque T.³, Fourcade M.⁴, Longueval C.⁵, Weber J.J.⁶, Granier J.⁷, Champolivier L.⁸, Bergez J.E.⁹

¹ ARVALIS - Institut du végétal, Station Inter-instituts, 6 Chemin de la Côte Vieille, 31450 Baziege

² Chambre d'Agriculture de la Haute-Garonne, 61 Allée de Brienne, BP 7044, 31069 Toulouse Cedex 7

³ Chambre d'Agriculture du Gers, Route de Mirande, BP 70161, 32003 Auch Cedex

⁴ Chambre d'Agriculture des Hautes-Pyrénées, La Herray, BP 5, 65501 Vic Bigorre Cedex

⁵ Chambre Régionale d'Agriculture de Midi-Pyrénées, 24 Chemin de Borde Rouge, Auzeville, BP 22107, 31321 Castanet Tolosan Cedex

⁶ Compagnie d'Aménagement des Coteaux de Gascogne (CACG), Chemin de l'Alette, BP 449 65004 Tarbes Cedex

⁷ IRSTEA. 3275 Route de Cézanne, CS 40061, 13182 Aix en Provence Cedex 5

⁸ CETIOM, Centre de recherche INRA, Bâtiment AGIR, BP 52627, 31326 Castanet Tolosan Cedex

⁹ INRA, 28 Chemin de Borde Rouge, Auzeville, BP 52627, 31326 Castanet Tolosan Cedex

Correspondant : jm.deumier@arvalisinstitutduvegetal.fr

Résumé

Le travail avec trois collectifs d'irrigants de Midi-Pyrénées a permis de progresser dans les méthodes d'audit-diagnostic technique, organisationnel et financier de ces structures. L'efficacité de l'eau d'irrigation a pu être mesurée sur les trois réseaux d'irrigation et dans quelques exploitations agricoles utilisant des enrouleurs des pivots et des dispositifs de couverture intégrale de sprinklers. L'adaptation des assolements des exploitations irriguées aux évolutions du contexte réglementaire, économique et climatique a été raisonnée avec les irrigants en utilisant l'outil de simulation LORA. Dans le cadre du projet, l'outil a été rénové et les fonctions de production «rendement/consommation d'eau» des principales espèces candidates aux assolements ont été mises à jour avec les données expérimentales récentes, en particulier sur maïs, sorgho et tournesol. CRASH, modèle de simulation dynamique pour l'aide au choix d'assolement a été mis au point dans le cadre d'une thèse. En matière de pilotage de l'irrigation, le projet a permis d'analyser la problématique et de progresser dans les méthodes d'accompagnement de la gestion collective et individuelle de la ressource en eau en cours de campagne. Afin de proposer des stratégies de conduite de l'irrigation par culture adaptées à chaque contexte de ressource en eau, une démarche générique de construction d'un simulateur déjà mise en œuvre sur maïs a été utilisée sur tournesol et blé dur. Des modèles décisionnels d'irrigation ont été conçus et des modèles biophysiques paramétrés, SUNFLO pour le tournesol et STICS pour le blé dur.

Mots-clés : Gestion des systèmes irrigués, collectifs d'irrigants, assolement, stratégie et conduite d'irrigation, gestion collective de la ressource en eau, efficacité de l'eau

Abstract: Understanding, adapting and improving quantitative water management with three irrigation associations from Midi-Pyrenees region.

The work carried out with three irrigation associations of the Midi-Pyrénées area made it possible to improve methods in the technical, organisational and financial audit of those structures. Irrigation water efficiency could be measured on three irrigation networks as well as in some farms using rain gun and sprinkler systems. The adaptation of cropping plan for irrigated farms to changes in the regulatory, economic and climatic context has been analysed with farmers using the simulator LORA. In the

framework of this project, the tool was upgraded and the production functions « crop yield/water consumption » of the main species were updated with recent experimental data, especially on maize, sorghum and sunflower. CRASH, a dynamic model aiming at helping the decisional process regarding cropping plan was designed during a PhD thesis. For irrigation management, the project set the scene and proposed progress in methods for accompanying collective and individual management of water resources during the irrigation season. To propose strategies for irrigation management by crop adapted to each water resources context, a generic approach to build a simulator already implemented on maize was used on sunflower and durum wheat. Irrigation decision models were designed and biophysical models were parameterized, SUNFLO for sunflower and STICS for durum wheat.

Keywords: Management of irrigated farm systems, irrigation association, cropping plan, irrigation strategy and irrigation management, collective management of water resources, water efficiency.

Introduction

En Midi-Pyrénées, l'irrigation s'est développée à partir de la fin des années 70 avec la formation des premières Associations Syndicales Autorisées (ASA). Les surfaces irrigables ont surtout augmenté entre les années 80 et 90 pour atteindre 15,8 % de la SAU en 2000 (RA – 2000 – SCEES). 81 % de la surface irriguée est occupé par des grandes cultures dont une très majoritaire, le maïs. En Midi-Pyrénées, sur 12000 exploitations irrigantes, 5490 sont adhérentes de structure collective d'irrigation et l'irrigation collective représente 49% des volumes prélevés d'irrigation contre 21% en Aquitaine et 11% en Poitou-Charentes (AEAG, 2009). 357 structures collectives d'irrigation ont été répertoriées en 2006 (ASA Info et ACTeon, 2006).

Les exploitations agricoles irriguées sont soumises actuellement à des évolutions de contexte marquées :

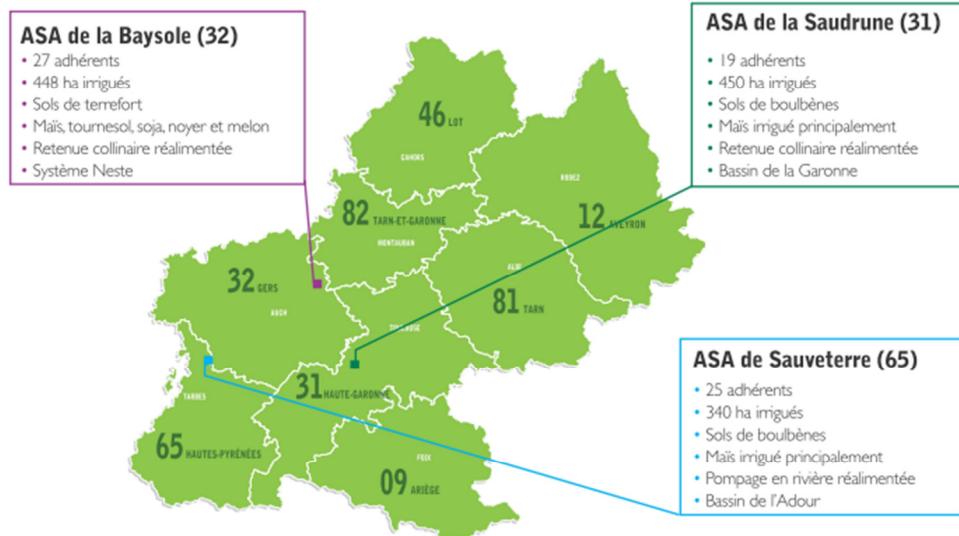
- contexte économique avec le bilan de santé de la PAC 2009 (découplage et baisse des aides), mais aussi avec la volatilité des prix des produits agricoles et des intrants,
- contexte réglementaire avec souvent une baisse attendue de la ressource en eau avec la mise en place de la gestion collective programmée, lors du dépôt du projet, pour 2011 (Loi sur l'eau et les milieux aquatiques, 2006),
- contexte climatique avec des sécheresses estivales récurrentes, prémices du changement climatique prévu par les experts.

Ces évolutions constituent de véritables défis pour l'avenir des exploitations agricoles irriguées ainsi que pour la pérennité des structures collectives d'irrigation.

Le projet « Connaissance, adaptation et amélioration de la gestion quantitative de l'eau avec des collectifs d'irrigants de Midi-Pyrénées par le développement et l'utilisation de méthodes et d'outils adaptés », associant trois collectifs d'irrigants de Midi-Pyrénées (encadré 1), avait pour objectif de comprendre, adapter et améliorer la gestion quantitative de l'eau au niveau :

- des exploitations elles-mêmes : perspectives sur les assolements, optimisation des stratégies et des conduites de l'irrigation, amélioration de l'efficacité de l'eau ;
- des collectifs d'irrigants : fonctionnement des collectifs, interaction entre besoins individuels et gestion collective, lien avec le gestionnaire, amélioration de l'efficacité de l'eau.

Cet article présente la structure du projet ainsi que les résultats les plus marquants obtenus.



Encadré 1 : Trois collectifs d'irrigants associés au projet

Le projet a été conduit dans le cadre de l'UMT Eau (ARVALIS – CETIOM – INRA) « Outils et méthodes pour la gestion quantitative de l'eau : du bloc d'irrigation au collectif d'irrigants » (Lacroix et Bergez, 2010). Il a associé des partenaires techniques : organismes de développement (Chambre régionale d'Agriculture de Midi-Pyrénées, Chambres départementales d'Agriculture de la Haute-Garonne, du Gers, et des Hautes-Pyrénées), gestionnaire de la ressource en eau (Compagnie d'aménagement des coteaux de Gascogne - CACG), instituts techniques (ARVALIS – Institut du végétal -chef de file du projet-, CETIOM), organismes de recherche (INRA - UMR AGIR, unité BIA et UMR LERNA -, Irstea) ; ainsi que des partenaires financiers : Ministère de l'Agriculture et de la Pêche avec la contribution financière du compte d'affectation spécial « *Développement agricole et rural* », Agence de l'eau Adour-Garonne, Conseil régional Midi-Pyrénées.

Le projet avait quatre objectifs principaux :

- connaître adapter et améliorer la gestion quantitative de la ressource en eau avec des collectifs d'irrigants de Midi-Pyrénées confrontés à des problèmes de ressource en eau restrictive et dégager avec les irrigants des perspectives d'évolution réaliste pour les systèmes irrigués,
- améliorer les outils et les méthodes d'analyse des systèmes irrigués,
- permettre de meilleures interactions entre partenaires,
- préparer de nouveaux programmes de développement et de recherche en particulier sur la gestion intégrée de l'eau à l'échelle du territoire.

1. Un projet structuré en trois actions

1.1. Une action de développement conduite avec trois collectifs d'irrigants

L'action a consisté à comprendre et analyser le fonctionnement des collectifs en réalisant un audit-diagnostic, et à proposer des améliorations du fonctionnement et en particulier de la gestion de l'eau. Pour ce faire, nous avons amélioré ou développé des méthodes et des outils que nous avons testés dans le cadre du projet. Les enseignements sont présentés dans les trois premières contributions : « amélioration du fonctionnement des collectifs », « efficacité de l'eau », « capacité d'irrigation ».

Une simulation des conséquences des évolutions du contexte économique à l'horizon 2012 (découplage et baisses des aides PAC, augmentation du coût de l'eau) été réalisée sur les exploitations

des collectifs à l'aide de l'outil d'optimisation d'assolement LORA pour dégager et proposer des voies d'adaptation possibles.

1.2. Deux actions de recherche

La première porte sur les outils de modélisation des choix d'assolement sur la sole irrigable de l'exploitation avec l'amélioration de l'outil LORA et la mise au point d'un nouvel outil CRASH, prenant en compte les avancées théoriques sur la modélisation des décisions et la prise de risque.

La seconde action vise la mise au point d'outils de simulation d'aide à la décision de stratégies de conduite de l'irrigation de différentes grandes cultures (maïs, tournesol, blé dur, sorgho et soja) à l'échelle du bloc d'irrigation.

2. Amélioration du fonctionnement des collectifs

L'audit-diagnostic est une méthode globale d'expertise du fonctionnement d'une structure collective d'irrigation comprenant un état des lieux (audit) et un plan d'actions (diagnostic) pour améliorer le fonctionnement du collectif. Elle comprend trois volets : organisationnel, financier et technique. Certaines actions peuvent être lourdes en investigations et nécessiter un second niveau de diagnostic appelé diagnostic approfondi. Cette démarche a été utilisée sur les trois collectifs du projet.

2.1. Diagnostics organisationnel et financier : exemple de l'ASA de la Saudrune

Ils ont abouti à :

- la proposition d'un règlement de service et d'achats, et l'accompagnement de la mise en conformité,
- l'analyse par poste des charges actuelles et passées, et la comparaison avec les charges d'un panel de 50 ASA suivies par la CACG qui permet de dégager des marges de progrès (Figure 1) ;
- la simulation des charges prévisionnelles pour les années futures qui dote l'ASA d'un outil de gestion prévisionnelle.

Comparaison des charges totales de l'ASA de la Saudrune à celles du panel d'ASA de la CACG (ramenées à l'hectare sur la base de 0,6 l/s/ha)

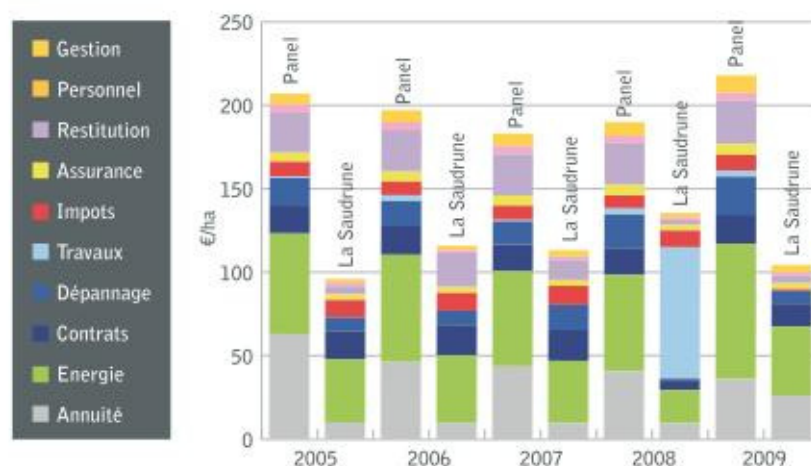


Figure 1 : Comparaison des charges totales de l'ASA de Saudrune à celles du panel d'ASA de la CACG (ramenées à l'hectare sur la base d'un débit par ha de 0,6 l/s). On montre qu'elles sont inférieures à celles du panel.

2.2. Diagnostic technique pour la connaissance de la ressource et l'efficacité de l'eau : exemple sur l'ASA de la Baysole

La ressource et son utilisation sont analysées sur les 15 dernières années.

Nous avons mobilisé les notions de performance du réseau de distribution -de la prise d'eau à la borne- par analogie avec les indicateurs existants en eau potable et avec la préoccupation de proposer des critères simples pour caractériser les réseaux d'irrigation, les comparer et identifier des marges de progrès par des préconisations s'inspirant des réseaux les plus performants.

Ainsi deux indicateurs sont calculés :

- le rendement primaire, rapport entre la somme des volumes consommés relevés sur les compteurs individuels et le volume prélevé mesuré à la station de pompage. Pour l'ASA de la Baysole (Figure 2) ce rendement a été amélioré ces dernières années grâce aux efforts réalisés pour optimiser le suivi, passant de 70 % à près de 95 % en 2010 (95 % étant la valeur moyenne des réseaux référents CACG). Cet indicateur permet à l'ASA d'améliorer sa gestion interne, mais il n'est pas que le reflet des pertes d'eau du réseau puisqu'il dépend aussi de la précision des compteurs individuels (5 à 7 % en eau brute) et de la rigueur des relevés.
- les pertes d'eau du réseau, mesurées par un test réseau fermé. Dans notre exemple, elles ont été diminuées par application des préconisations, et le taux de pertes, très faible, est passé de 3% à 1%.

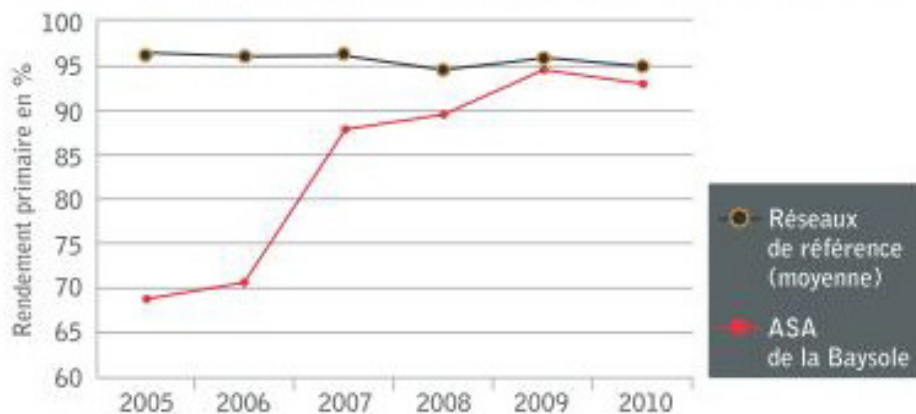


Figure 2 : Comparaison du rendement primaire du réseau de l'ASA de la Baysole à celui des réseaux de référence suivis par la CACG

2.3. Diagnostic technique approfondi pour moderniser les installations : exemple de l'ASA de Sauveterre

« Un réseau de distribution robuste mais avec un manque de pression récurrent, une station de pompage obsolète présentant des défauts de régulation et de comptage, quatre surpresseurs inadaptés au fil du temps », tel est le résultat de l'audit.

Le réseau a été redécoupé en un réseau haut et un réseau bas avec des pressions de service adaptées et une régulation optimisée : variateur de fréquence et débitmètre.

3. Efficacité de l'eau

L'efficacité globale de l'eau se définit comme le rapport entre le volume d'eau qui arrive dans le sol de la parcelle et le volume d'eau mobilisé par pompage. En pratique, elle est évaluée par tronçon : efficacité du transport (de la station de pompage à la borne), efficacité de la distribution (de la borne à l'asperseur), efficacité de l'application (de l'asperseur au sol) (Figure 3).

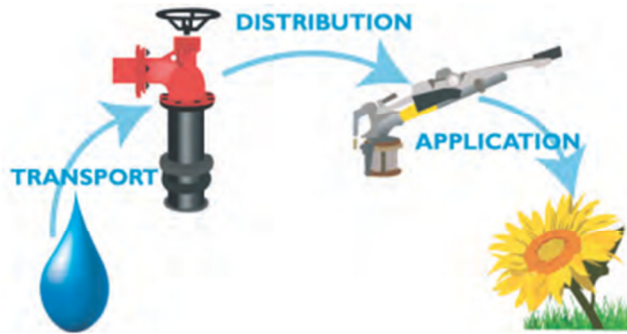


Figure 3 : Efficacité du transport, de la distribution et de l'application de l'eau

L'efficacité dépend donc des pertes d'eau sur chacun des tronçons. Pour l'apprécier correctement, il est nécessaire que les incertitudes sur les mesures de volumes soient inférieures aux pertes mesurées.

A l'échelle du réseau, les pertes réelles ont été évaluées par la méthode du test réseau fermé. Sur les trois réseaux étudiés, elles se situent entre 1 et 3 % du volume distribué pendant la campagne d'irrigation, ce qui est faible.

L'efficacité de la distribution est un indicateur de la présence de fuites dans les matériels, qu'elles soient accidentelles ou liées à la vétusté du matériel. En couverture intégrale, les pertes diffuses au niveau des raccords peuvent représenter des volumes importants : pas de mesure réalisée car très forte variabilité.

A l'échelle de la culture, les pertes par évaporation directe (que l'on peut situer à 3 % au maximum d'après des expérimentations menées par le CEMAGREF (Molle et al, 2012)) ou par dérive sont responsables d'une efficacité de l'application qui peut descendre jusqu'à 80 % au total (soit 20 % d'eau perdue).

Les facteurs aggravants sont essentiellement :

- les conditions météorologiques, en particulier la vitesse du vent ;
- et la taille des gouttes produites par l'arrosoir.

Pour ces raisons, les canons enrouleurs, les pivots (sauf la première travée) et les rampes ont généralement une bonne efficacité d'application, alors que c'est en couverture intégrale que l'on peut avoir les plus mauvais résultats. Ces différences sont à mettre en balance avec d'autres critères d'appréciation comme les performances énergétiques des matériels et la qualité de la répartition spatiale.

La capacité d'irrigation : un critère indispensable pour la stratégie d'irrigation et la gestion de la ressource



Pour chaque irrigant, la conduite de l'irrigation est encadrée par les moyens alloués à l'irrigation : ressource en eau, matériel et main d'œuvre. En début de campagne, l'irrigant peut qualifier sa capacité d'irrigation par 2 grandeurs exprimant le rapport des moyens aux surfaces :

- **Volume disponible par hectare irrigué : en m³/ha.** Exemple : 2600 m³/ha

• **Capacité d'irrigation en débit** : exprimée en mm/jour, elle tient compte du débit du matériel (m^3/h) et du temps de son fonctionnement effectif (nb d'heures/jour en moyenne) utilisé sur une surface (ha). Elle limite le rythme d'irrigation (Deumier. et al, 2006)

Exemple : débit de $50 m^3/h$ utilisé 18h/jour sur 20 ha : Capacité d'irrigation en débit = $50 m^3/h \times 18 h/jour / 20 ha = 45 m^3/ha/jour = 4.5 mm/jour$, soit par exemple pour un tour d'eau de 7 jours, un rythme maximal de 31,5 mm tous les 7 jours.

Ce qui est réellement disponible pour les plantes, doit tenir compte de l'efficacité de l'eau.

Ici pour une efficacité de 95% : $2470 m^3/ha$ et 4,3 mm/jour soit 30 mm tous les 7 jours.

Ces grandeurs sont définies à l'échelle du bloc d'irrigation, surface d'une même culture irriguée par un même matériel et une même ressource. L'ensemble des blocs d'irrigation de l'exploitation doit respecter les contraintes de volume total et de débit total disponibles.

Ces valeurs peuvent être comparées aux besoins en eau fréquents des cultures caractérisées par leurs dates de semis et leurs précocités en tenant compte des sols (réserves en eau) et du climat.

Au niveau du collectif d'irrigants, la gestion collective de la ressource en eau en cours de campagne peut aussi être abordée en termes de stratégie (plan prévisionnel de gestion). Les éléments clés de cette stratégie sont le volume et le débit disponibles et l'estimation des surfaces des cultures à irriguer :

• **Volume moyen par ha (m^3/ha)** : Volume total disponible / surface à irriguer

• **Débit moyen par ha ($m^3/h.ha$ ou $l/s.ha$)** : Débit total disponible / surface à irriguer

Une connaissance de la distribution des surfaces irriguées par classe de capacité d'irrigation en débit (mm/j) permet d'estimer une valeur maximale du rythme de consommation de la ressource collective, R_{max} ($m^3/jour$) :

$$R_{max} = \sum_{i=1}^n (Surface\ irriguée\ (ha))_i \times (Capacité\ d'irrigation\ (mm/jour))_i \times 10$$

4. Gestion de la ressource en eau dans les collectifs

ASA de la Saurdrone et de Sauveterre : mise en place d'un bilan hydrique prévisionnel collectif pour mieux gérer la ressource collective en cours de campagne.

4.1. Les problématiques

Pour l'ASA de la Saurdrone, les irrigants vivent de plus en plus d'années restrictives en fin de campagne, avec des volumes restants dans le lac insuffisants pour couvrir correctement les besoins ; il en ressort la nécessité d'une bonne répartition temporelle et spatiale du volume restant en milieu de campagne.

Pour l'ASA de Sauveterre, une gestion approximative du quota peut être améliorée par la modernisation récente des installations et la mise en place de deux compteurs collectifs.

4.2. Le principe

Pour mieux gérer le volume disponible de l'ASA sur la campagne (lac ou quota), le principe retenu est d'utiliser, à l'échelle du périmètre irrigué de l'ASA, un outil de bilan hydrique prévisionnel conçu et utilisé au départ pour la gestion à la parcelle (BHYP). Des bilans hydriques sont calculés sur des groupes de parcelles similaires (mêmes cultures, variétés de mêmes précocités et dates de semis voisines) ou sur des pivots collectifs (11 à Sauveterre) pour avoir une représentation des prélèvements d'eau de l'ASA.

En juin et juillet, ces prélèvements d'eau simulés sont alors comparés aux prélèvements mesurés grâce au débitmètre de la station de pompage. Après calage, ces bilans permettent de simuler les besoins prévisionnels d'irrigation jusqu'à la fin de la campagne d'irrigation pour chaque groupe de parcelles et pour l'ensemble des surfaces irriguées de l'ASA.

La Figure 4 permet de comparer la date prévisionnelle d'épuisement de la ressource en eau avec la date prévisionnelle de fin de besoins d'irrigation pour chaque groupe et de quantifier le manque d'eau.

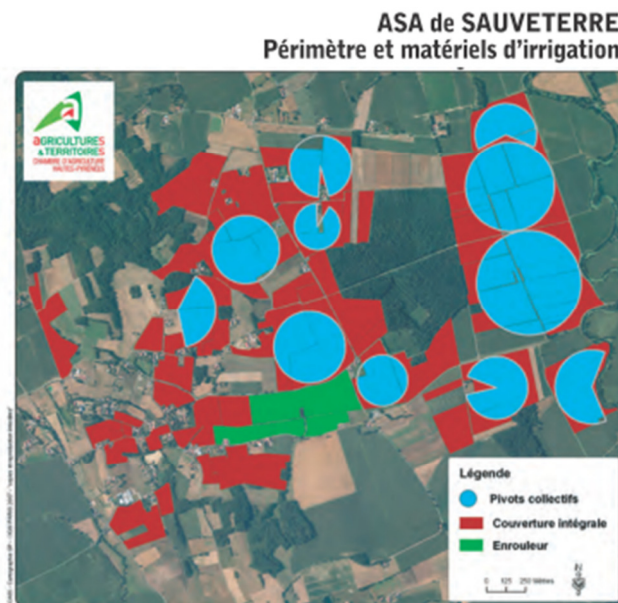
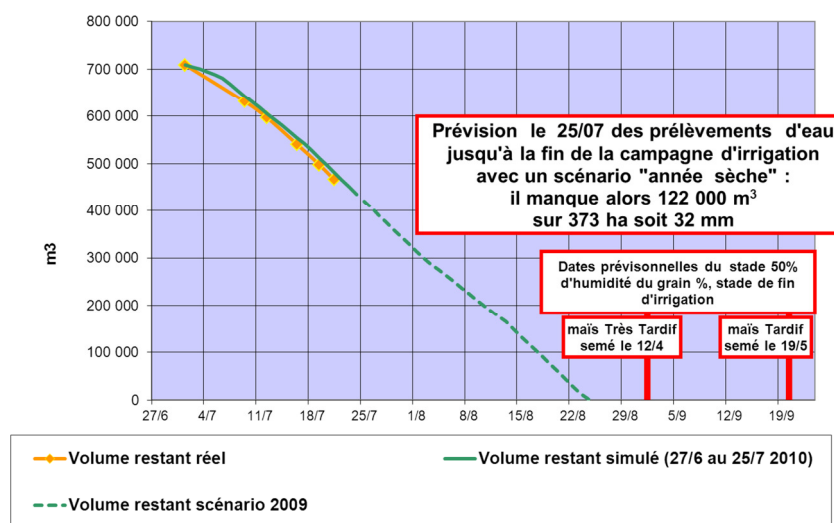


Figure 4 : Evolution des volumes restants (réel et simulé) jusqu'au 25 juillet 2010. Simulation à partir du 25 juillet selon le scénario climatique 2009 (année sèche). ASA de Sauveterre.

4.3. La méthode de travail utilisée

La mise en place d'un outil prévisionnel de gestion de la ressource nécessite au préalable de rassembler différentes données auprès de la majorité ou d'un échantillon représentatif des irrigants de l'ASA : surfaces et cultures irriguées, dates de semis, précocité des variétés, types de sols, capacité d'irrigation en débit.

La comparaison des besoins prévisionnels d'irrigation et des volumes disponibles restants permet de prendre les décisions de gestion collective de la ressource afin d'éviter un arrêt brutal des irrigations très préjudiciable pour les cultures en année sèche.

Ces décisions sont prises par les irrigants. Aussi avons-nous attaché beaucoup d'importance à communiquer aux responsables des collectifs et aux irrigants les indicateurs d'évolution de la ressource, nos prévisions de dates de fin d'irrigation et les prévisions de besoins en eau et de consommations, lors des réunions ou des visites individuelles. Ces indicateurs ont contribué aux prises de décision des irrigants pour la gestion collective de la ressource.

4.4. En conclusion

Cette méthode, utilisée pendant deux campagnes pour l'ASA de la Saurune et en 2010 pour l'ASA de Sauveterre, a donné de bons résultats et a intéressé les agriculteurs ; elle a permis dans le cas de la Saurune de ne pas avoir des fins d'irrigation trop précoces et brutales qui pénalisent le rendement, et dans le cas de Sauveterre, d'ajuster la répartition du quota restant entre les antennes du réseau. Cette méthode peut être utilisée dans tous les collectifs à condition de disposer de relevés réguliers des index compteurs des stations ou des antennes de réseaux, de données élémentaires sur les cultures en place et d'observations de stades clefs.

L'engagement des irrigants à fournir ces informations de base conditionne la réussite de ce type de méthode de gestion collective.

5. Adaptation des assolements des exploitations irriguées aux évolutions de contexte : démarche participative et outils de simulation

Les simulations ont été réalisées avec LORA - Logiciel d'Optimisation et de Recherche d'Assolement (ARVALIS, INRA) -, outil de réflexion sur le choix d'assolement de la sole irrigable (Marsac et al, 2010). L'optimisation de l'assolement est faite sur le critère de la marge brute, à partir d'une liste de cultures candidates soumises à différentes conditions d'alimentation hydrique et en prenant en compte la variabilité de quinze années climatiques. Dans le cadre du projet, LORA a été rénové et le paramétrage des modèles agronomiques utilisés a été mis à jour à partir de références expérimentales récentes, en particulier celui des fonctions de production « indice de rendement / indice de satisfaction des besoins en eau » (Figure 5).

5.1 Au préalable, un état des lieux des exploitations

Pour la simulation, un état des lieux précis des exploitations a été réalisé avec la collecte de nombreuses données auprès des agriculteurs sur les trois ans de l'étude : assolement, sols, ressources en eau, débits souscrits et disponibles, type de matériels d'irrigation et temps d'utilisation. Cet état des lieux a abouti à un diagnostic économique initial, établi à partir de références partagées localement avec les conseillers irrigation et les agriculteurs : cultures candidates aux assolements, rendements potentiels, charges opérationnelles, prix des produits.

Des scénarios, propres à chaque collectif à l'horizon 2012, ont été élaborés avec les irrigants, prenant en compte les évolutions actuelles ou probables :

- PAC : bilan de santé 2009 (découplage et baisse des aides) avec mise en place de 2010 à 2012

- augmentation du coût de l'eau : augmentation des redevances prélèvement et du coût de l'énergie (hypothèse de + 15 % par an pendant 3 ans) ;
- disponibilité de la ressource en eau selon l'historique propre à chaque ASA, et hypothèses des futurs volumes prélevables ;
- changement climatique récent, avec l'augmentation de la fréquence d'étés secs.

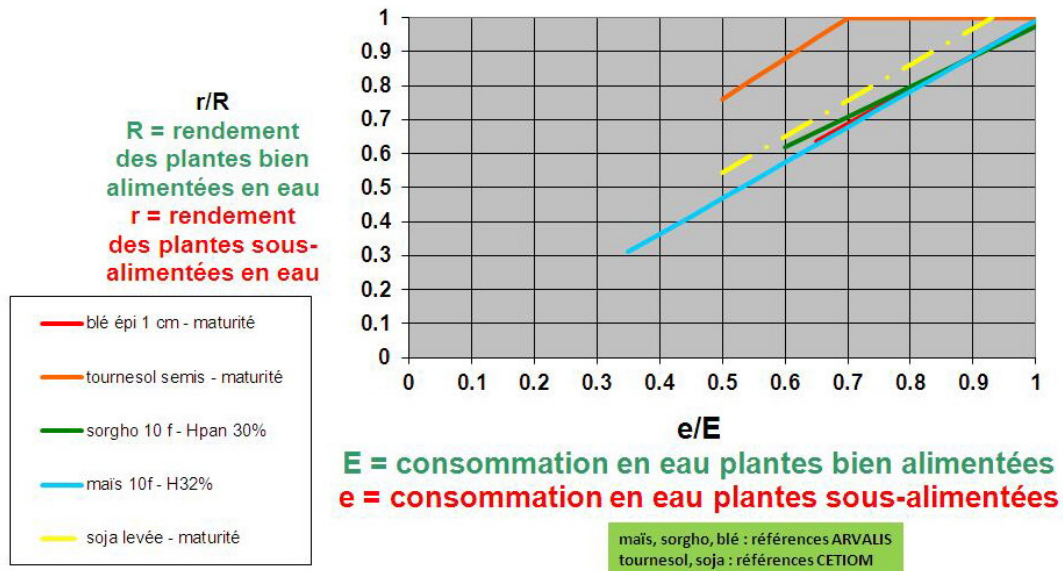


Figure 5 : Fonctions de production rendement / consommation d'eau de quelques espèces

5.2 Les résultats

Les simulations ont permis d'évaluer les impacts des différents scénarios sur les marges brutes par hectare irrigable assolé. La mise en place du bilan de santé 2009 génère une perte de marge brute de 90 €/ha en moyenne sur les trois ASA, avec une baisse supérieure pour les exploitations à dominante maïs. L'augmentation du coût de l'eau provoque une baisse de marge brute de 10 à 30 €/ha. L'impact des hypothèses de baisse des volumes autorisés est variable selon le niveau de baisse de ressources, la part des surfaces irriguées dans l'assolement et la capacité d'irrigation initiale. Cette baisse de marge brute, de 20 à 40 €/ha, peut atteindre 60 €/ha en année sèche.

Les adaptations d'assolement permettraient d'amortir l'impact et de mieux gérer les risques mais ne compenseraient pas toute la perte. Le maïs reste la culture de base des assolements très orientés maïs aujourd'hui. Une diversification d'une petite partie de la sole irrigable (20 à 25 %) avec des cultures comme le soja, le tournesol ou les blés irrigués permettrait une meilleure gestion des aléas. Les conduites de l'irrigation de ces cultures peuvent être légèrement restrictives sans trop pénaliser le rendement. Cela permettrait de sécuriser la ressource pour les maïs avec une conduite légèrement limitante en années sèches.

Au-delà des résultats mêmes de cette étude, la démarche participative engagée avec les producteurs avec la co-construction des hypothèses de simulations et la discussion critique des résultats initie des réflexions de groupe intéressantes pour le fonctionnement et les adaptations des structures collectives.

Mise au point d'un nouveau modèle de simulation dynamique pour l'aide au choix d'assolement (CRASH)

Objectifs de production, incertitudes sur les ressources et les prix, et contraintes agronomiques sont autant d'éléments que l'agriculteur mobilise pour établir dynamiquement son assolement. Dans un contexte agricole changeant, comment améliorer les réflexions sur les choix d'assolement ?

L'objectif de la thèse de J. Dury (2011), est de développer un simulateur d'assolement destiné aux conseillers de la profession agricole. En se basant sur des enquêtes, les processus de décision des agriculteurs ont été analysés, formalisés informatiquement et implémentés sous forme de programmes sous la plateforme RECORD (Bergez et al., 2012).

Ainsi, nous proposons une chaîne de modélisation intégrant une représentation spatiale de l'exploitation agricole, une base de connaissances des itinéraires techniques et des coûts, un algorithme d'optimisation de contraintes permettant de proposer dans un cadre de contraintes défini un jeu d'assolement optimisé sur plusieurs critères.

6. Recherche de stratégies de conduite de l'irrigation par culture

L'objectif opérationnel est de proposer aux irrigants des stratégies de conduite de l'irrigation par culture, adaptées à différents contextes caractérisés par le niveau de ressource en eau, le milieu pédoclimatique et les conditions économiques.

On appelle ici **stratégie de conduite de l'irrigation** un plan d'action prévisionnel pour la conduite de la campagne d'irrigation visant à atteindre des objectifs (rendements, qualité, marge, etc.) tout en respectant des contraintes (volume, débit, état de la ressource, etc.). Cette stratégie, ensemble de règles de décision, est définie avant la campagne et doit s'adapter à différents scénarios climatiques et états du système. Le calendrier d'irrigation est le résultat de l'application, une année donnée, de la stratégie par la mise en œuvre des règles de décision (pilotage).

La démarche générique adoptée dans le cadre de ce projet consiste à mettre au point, pour chaque culture indépendamment des autres, un simulateur de conduite de l'irrigation (Figure 6). Cet outil informatique couple, au pas de temps journalier, un modèle décisionnel représentant de manière simplifiée l'enchaînement des décisions de conduite de l'irrigation prises par l'irrigant et un modèle biophysique de la culture représentant le développement, la croissance, le fonctionnement hydrique et l'élaboration du rendement. Le modèle biophysique fournit au pas de temps journalier les valeurs de variables du système sol-plante-climat utilisables comme indicateurs de décision par le modèle décisionnel. Celui-ci « décide » des apports d'eau d'irrigation (telle dose tel jour) et renvoie cette action au modèle biophysique.

L'outil peut simuler l'application d'une stratégie sur une série climatique et en évaluer les performances (eau consommée, rendement, marge, etc.). La comparaison de plusieurs stratégies peut alors être faite sur plusieurs critères en tenant compte de la variabilité climatique. L'adjonction d'un algorithme d'optimisation vise à rechercher les meilleures stratégies pour un contexte donné.

Le maïs grain est la culture modèle pour ce type d'approche. Les travaux ont porté aussi sur le blé dur (conduite conjointe de l'irrigation et de la fertilisation azotée) et le tournesol.

Maïs

L'outil de simulation bio-décisionnel en cours de mise au point s'appelle MOUSTICS Maïs, couplage du module décisionnel de MODERATO et du modèle biophysique STICS maïs (Bergez et al., 2012). Il s'agit notamment de proposer des stratégies de conduite de l'irrigation adaptées aux contextes pour lesquels la ressource en eau est inférieure à celle qui serait nécessaire pour couvrir les besoins 8 ans sur 10. L'outil devrait prendre en compte l'indicateur « volume restant » pour réviser la stratégie en cours de campagne.

Blé dur

L'objectif est de proposer des stratégies de conduite conjointe de l'irrigation et de la fertilisation azotée pour améliorer le rendement et la teneur en protéines. La thèse de Solenn Guillaume a permis de paramétrer et d'évaluer le modèle STICS blé dur et de conduire des enquêtes chez les producteurs de blé dur pour concevoir un modèle décisionnel en cours de construction (Guillaume, 2011). Ce modèle jumelant dynamiquement les opérations de semis, fertilisation, irrigation et récolte, permettra de simuler des stratégies nouvelles pour une meilleure gestion de l'azote et de l'eau afin d'obtenir des rendements et des taux de protéines élevés sans augmenter les pressions environnementales.

Tournesol

Il a été décidé de réaliser deux simulateurs résultant du couplage d'un modèle décisionnel unique et de deux modèles de culture, pour répondre à des objectifs différents : spécificité vis-à-vis du tournesol avec Sunflo (modèle INRA - CETIOM) (Casadebaig et al., 2011) et approche multiculture avec le modèle générique STICS (Brisson et al., 2003).

Le modèle décisionnel, en cours de construction, permettra de simuler les stratégies mises en œuvre par les agriculteurs et celles préconisées ou imaginées par les agents de développement.

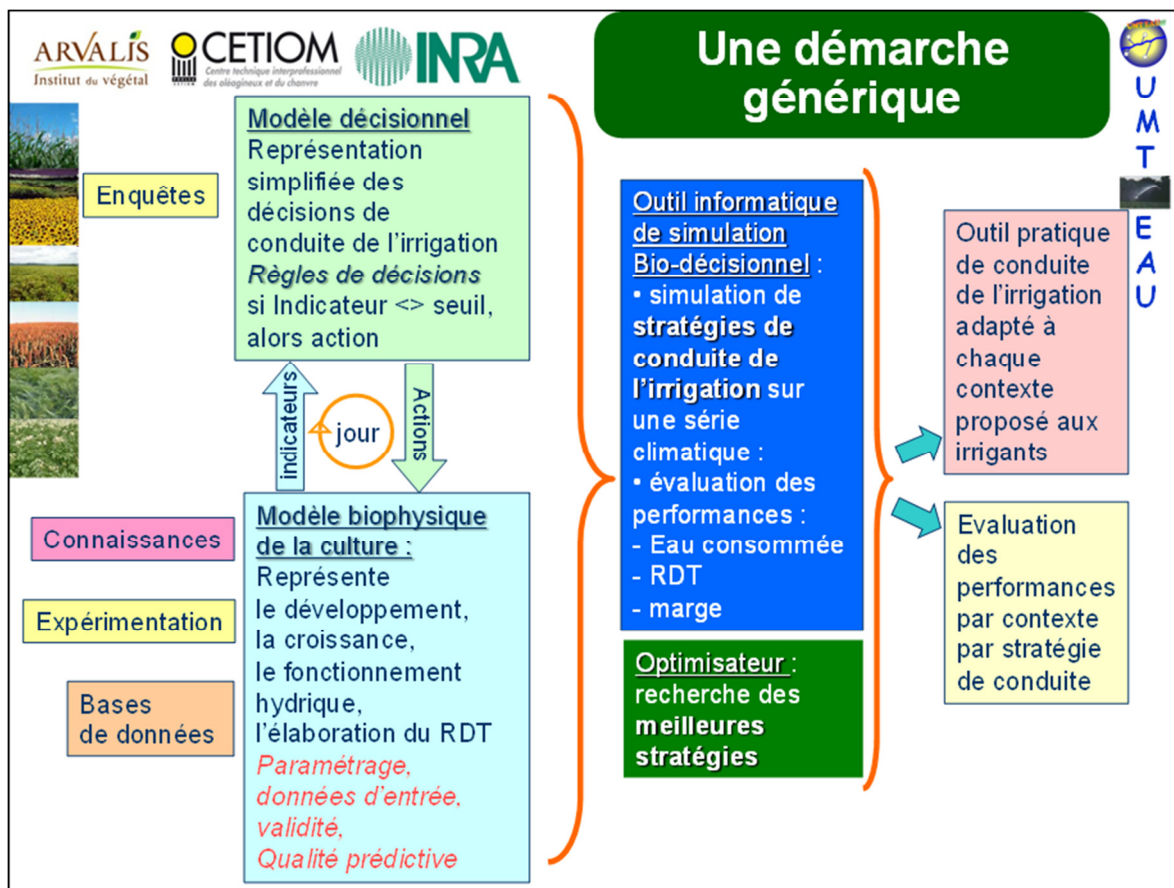


Figure 6 : Démarche générique de la construction et de l'utilisation d'un simulateur pour proposer des stratégies de conduite de l'irrigation par culture adaptées à chaque contexte

Irrisoja

C'est l'outil de pilotage de l'irrigation du soja développé par le Cetiom. Il est basé sur des mesures de tension de l'eau dans le sol (sondes Watermark®) à 30 et 60 cm de profondeur. En fonction de la nature du sol, du stade de la culture et de la durée du tour d'eau, l'outil calcule des seuils de tension au-delà desquels un tour d'eau doit être engagé.

La réponse à l'eau du sorgho

L'essai de Gaillac (81) comparant la réponse à l'eau du sorgho et du maïs en 2009 et 2010, deux années sèches, sur des sols limono-sableux d'alluvions récentes du Tarn, montre un rendement potentiel du sorgho (100 q/ha) nettement inférieur à celui du maïs (135 q/ha), des rendements équivalents en non irrigué (50 à 60 q/ha pour les deux espèces)(DEUMIER et al, 2011), des fonctions de production indice de rendement / indice de satisfaction des besoins en eau semblables (figure 5). Une synthèse des essais conduits à Gaillac et dans d'autres régions de production du sorgho et du maïs, Poitou-Charentes et Rhône-Alpes est réalisée en 2012.

Conclusion

Ce projet de recherche et développement a permis la mise au point de méthodes et d'outils permettant aux irrigants, aussi bien individuels que dans le cadre d'un collectif, d'analyser, comprendre et améliorer les performances de leurs systèmes de culture irrigués. Les méthodes et outils sont génériques et ont été testés dans le cadre des trois ASA sélectionnées pour le projet. Afin d'assurer la diffusion des travaux de ces quatre années, les résultats ont été communiqués aux techniciens de l'irrigation le 26/05/2011 (65 participants) et aux présidents des collectifs d'irrigants de Midi-Pyrénées le 23/11/2011 (100 participants). Par ailleurs 110 personnes ont participé le 27 mars 2012 au séminaire d'échanges organisé par l'UMT Eau (ARVALIS – INRA – CETIOM) sur le thème « Assolement et gestion quantitative de l'eau, de l'exploitation agricole au territoire » permettant d'ouvrir plus largement la question de la gestion de l'eau.

Le partenariat et les thématiques développées dans ce projet ont permis de générer la constitution de projets nouveaux :

- projet pour améliorer la maîtrise de l'irrigation au niveau individuel et collectif : « l'étude de faisabilité pour un bilan hydrique prévisionnel interactif via internet » a fait l'objet d'un rapport en septembre 2011 (partenariat CRAMP, CA31, CA32, CA65, CACG, ARVALIS, CETIOM, INRA) ; une mise en œuvre dans le cadre du projet *mes@parcelles* piloté par le SIRCA (Système d'Information du Réseau des Chambres d'Agriculture) est à l'étude ;
- le projet sur les adaptations des installations individuelles et collectives et des matériels d'irrigation aux augmentations des coûts énergétiques et aux contraintes environnementales (ressource en eau, bilan carbone) partenariat Irstea LERMI, ARVALIS, CA31, CACG, CA47 est en cours (Casdar RFI EDEN et AEAG (2012-2014)) ;
- un projet de nouvelle UMT « Outils et méthodes pour la gestion quantitative de l'eau : de l'exploitation agricole au territoire » a été déposé en avril 2012, partenariat ARVALIS, INRA, CETIOM, UPS-CESBIO, CACG, CRAMP.

Références bibliographiques

Amigues J.P., Debaeke P., Itier B., Lemaire G., Seguin B., Tardieu F., Thomas A. (éditeurs), 2006. Sécheresse et agriculture. Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, INRA (France), 72 p.

ASA Info et ACTeon, 2006. Etude des structures collectives d'irrigation de Midi-Pyrénées, 38 p.

Bergez J.E., Chabrier P., Gary C., Jeuffroy M.H., Makowski D., Quesnel G., Ramat E., Raynal H., Rousse N., Wallach D., Debaeke P., Durand P., Duru M., Dury J., Faverdin P., Gascuel-Oudou C.,

Garcia F., 2012. RECORD: an open platform to build, evaluate and simulate integrated models of farming and agro-ecosystems. *Environmental Modelling & Software*, doi:10.1016/j.envsoft.2012.03.011

Bergez J.E., Charron M.H., Leenhardt D., Poupa J.C., 2012. MOUSTICS: a generic dynamic plot-based biodecisional model. *Computers and Electronics in Agriculture* 82, 8–14.

Brisson N., Gary C., Justes E., Roche R., Mary B., Ripoche D., Zimmer D., Sierra J., Bertuzzi P., Burger P., Bussiere F., Cabidoche Y.M., Cellier P., Debaeke P., Gaudillere J.P., Henault C., Maraux F., Seguin B., Sinoquet H., 2003. An overview of the crop model STICS. *Eur. J. Agron.* 18, 309–332.

Casadebaig P., Guilioni L., Lecoœur J., Christophe A., Champolivier L., Debaeke, P., 2011. SUNFLO, a model to simulate genotype-specific performance of sunflower crop in contrasting environments. *Agricultural and Forest Meteorology* 151, 163-178.

CRAMP, CA31, CA32, CA65, CACG, ARVALIS, CETIOM, INRA 2011. Etude de faisabilité pour un bilan hydrique prévisionnel interactif via internet, septembre 2011, 33 p.

Deumier J.M., Leroy P., Jacquin C., Balas B., Bouthier A., Lacroix B., Bergez J.E., 2006. Gestion de l'irrigation au niveau de l'exploitation agricole. In : *Traité d'irrigation 2^e édition* Lavoisier, pp 1120-1137.

Deumier J.M., Lacroix B., Marsac S., Bouthier A., Mangin M., 2011. Irrigation : le maïs plus productif que le sorgho sauf en conduite restrictive. *Perspectives Agricoles* 380, 58-59.

Dury J., 2011. The cropping- plan decision-making: a farm level modelling and simulation approach. PhD Dissertation, Université de Toulouse, Agrosystèmes, Ecosystèmes et Environnement. 198p + annexes.

Guillaume S., 2011. Adaptation d'un modèle de culture et conception d'un modèle de décision pour la gestion conjointe de l'irrigation et de la fertilisation azotée du blé dur. PhD Dissertation, Université de Toulouse, Agrosystèmes, Ecosystèmes et Environnement, 166p + annexes.

Lacroix B., Bergez J.E., 2010. The UMT-Eau : an innovative partnership of research and development to renew tools, methods and advices to manage irrigation water in cash crop farm enterprises. XX European Society of Agronomy, Montpellier FR.

Marsac S., Deumier J.M., Moynier J.L., Lacroix B., Leroy P., Champolivier L., 2010. Systèmes irrigués : LORA, un outil pour la réflexion sur les assolements et la gestion de l'eau, *Perspectives Agricoles* 365, 50-52.

Molle B., Tomas S., Hendawi M., Granier J., 2012. Evaporation and wind drift losses during sprinkler irrigation influenced by droplet size distribution. *Irrigation and Drainage* 61, 240-250