



HAL
open science

Une approche agroécologique de la gestion quantitative de l'eau en zone de déficit chronique

Delphine D. Burger-Leenhardt, Clément Murgue, Olivier Therond

► To cite this version:

Delphine D. Burger-Leenhardt, Clément Murgue, Olivier Therond. Une approche agroécologique de la gestion quantitative de l'eau en zone de déficit chronique. *Innovations Agronomiques*, 2015, 43, pp.57-70. <10.17180/rx5z-2k54>. <hal-02629854>

HAL Id: hal-02629854

<https://hal.inrae.fr/hal-02629854v1>

Submitted on 27 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 CC BY 4.0 - Attribution - International License

Une approche agroécologique de la gestion quantitative de l'eau en zone de déficit chronique

Leenhardt D.¹, Murgue C.^{1,2}, Therond O.¹

¹ INRA, UMR1248 AGIR, CS52627, F-31326 Castanet Tolosan Cedex

² CACG, antenne de Toulouse, 24 chemin de Borde Rouge, F-31320 Auzeville-Tolosane

Correspondance : Delphine.Burger-Leenhardt@toulouse.inra.fr

Résumé

Cet article présente une démarche de conception et évaluation d'alternatives de distributions spatiales de systèmes de culture en vue de progresser dans la résolution des problèmes de gestion quantitative de l'eau dans un bassin à déficit hydrique chronique, le bassin aval de l'Aveyron. Cette démarche combine modélisation et participation. Un dispositif participatif a permis à deux groupes d'acteurs (agriculteurs d'une part, gestionnaires de l'autre) de concevoir des alternatives de changement pour le territoire d'étude. La modélisation a pris une place essentielle dans ce dispositif de conception en permettant d'avoir une représentation partagée, dynamique et spatialement explicite du territoire sur laquelle ont pu s'appuyer les acteurs pour concevoir les alternatives et que les chercheurs ont utilisée pour simuler l'impact sur les prélèvements en eau et le débit des cours d'eau. L'expérience conduite doit être vue comme le début d'un processus itératif de conception pour aller vers des solutions efficaces et acceptables. Ce premier pas a déjà permis de faire évoluer l'attitude des deux groupes d'acteurs vers une volonté de plus travailler en commun.

Mots-clés : Agronomie du territoire, système socio-écologique, paysage agricole, gestion spatiale de l'eau, méthode participative, connaissance hybride, modélisation intégrée, modélisation multi-agent, modèle de comportement d'agriculteur.

Abstract: An agroecological approach of quantitative water management in an area with chronic water deficit

In order to improve the resolution of quantitative water management problems in a watershed facing recurrent water deficit, the low Aveyron watershed, an approach for designing and evaluating spatial distributions of cropping systems was developed. The present article describes this approach which combines modelling and participation. Two groups of actors (farmers, water managers) were formed to design alternatives of change for the study area. Modelling took a central role in the design workshops: it allowed scientists and local actors to share a spatially explicit and dynamic representation of the area which could then be used as a basis (i) for actors in their task of alternatives design and (ii) for scientists to simulate the impacts of the designed alternatives on the water resources. The process described here can be viewed as the start of an iterative process aiming at designing efficient and acceptable solutions. This first step already allowed a positive evolution of the attitude of each group of actors, leading to a shared willingness to work together.

Keywords: Landscape agronomy, socio-ecological system, agricultural landscape, spatial water management, participatory approach, hybrid knowledge, integrated modelling, agent-based modelling, farmer behavior model.

1. Le contexte et les enjeux

1.1 Un contexte de changements globaux défavorable pour les ressources en eau

La gestion quantitative de la ressource en eau doit faire face aux défis engendrés par les changements globaux à l'œuvre.

Le premier d'entre eux est le changement climatique. Malgré de fortes incertitudes, une diminution de la pluviométrie efficace et des précipitations neigeuses serait à prévoir sur certains bassins déjà fortement déficitaires comme le bassin Adour-Garonne. Avec moins d'écoulements vers les cours d'eau, et sans doute moins d'infiltration vers les nappes, et le passage d'un régime nival à un régime pluvial des cours d'eau, le niveau et la dynamique des ressources en eau mobilisées pour les différents usages vont être fortement modifiés : avancement et allongement des étiages, diminution des ressources stockées.

Par ailleurs, dans certaines régions, l'afflux de population conduit à une augmentation simultanée des besoins alimentaires et des usages domestique (eau potable) et énergétique (hydro-électricité) de l'eau alors même que les surfaces agricoles diminuent du fait de l'urbanisation. Il faudra donc produire plus avec moins d'eau et moins de terres!

1.2 Une réglementation qui évolue pour répondre aux défis des changements globaux

En réponse à ces perspectives de diminution de la ressource et d'accroissement des besoins en eau, des lois sur l'eau ont vu le jour et leur mise en œuvre pose de nouveaux défis à l'agriculture.

En France, la loi sur l'eau de 1992 (articles L.210-1 et suivants du Code de l'environnement) consacre l'eau en tant que "patrimoine commun de la Nation" et institue un système de planification et de gestion décentralisée et concertée à travers les Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) et les SAGE (Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux). Les zones de répartition des eaux (ZRE), où est constatée une insuffisance autre qu'exceptionnelle des ressources par rapport aux besoins en eau, sont définies peu après (décret du 29 avril 1994) pour faciliter la conciliation des intérêts des différents utilisateurs de l'eau. D'un point de vue quantitatif, les SDAGE fixent les Débits d'Objectifs d'Etiage (DOE) et les Débits de Crises (DCR) pour les points nodaux du réseau hydrologique. Le DOE est un débit de référence qui permet d'assurer la coexistence normale de tous les usages et le bon fonctionnement du milieu aquatique. Le DCR est le débit de référence en dessous duquel seules les exigences de santé, de salubrité publique, de sécurité civile et d'alimentation en eau potable et les besoins des milieux naturels peuvent être satisfaites (Comité de Bassin Adour-Garonne, 2009).

Pour les bassins en déséquilibre, dans le Bassin-Adour-Garonne, les SDAGE introduisent des Plans de Gestion des Etiages (PGE), documents contractuels, qui définissent les règles de partage de l'eau entre usages et milieux pour la période d'étiage. Ils préconisent des mesures de gestion de l'offre (des ressources) et des demandes (les prélèvements) de manière à respecter les DOE, 8 années sur 10.

Malgré ces dispositifs législatifs et réglementaires, un grand nombre de bassins hydrographiques présentent des déficits chroniques (Figure 1). Prenant acte de cette situation, la France a adopté le 30 décembre 2006 la loi sur l'eau et les milieux aquatiques (dite « LEMA », Loi n°2006-1772 du 30 décembre 2006, décret d'application du 24 septembre 2007 et circulaires du MEDDTL du 30 juin 2008 et 3 août 2010) qui a comme objectif une « gestion équilibrée et durable de la ressource en eau » qui prend en compte « les adaptations au changement climatique ». Elle prévoit de nouvelles modalités de réglementation des autorisations de prélèvements agricoles qui doivent être appliquées en priorité au sein des ZRE. Elle instaure la définition de volumes prélevables (V_p) pour l'agriculture par unité hydrologique élémentaire (sous-bassin versant) compatibles avec la ressource réellement disponible pour cet usage. Le plafonnement des prélèvements au V_p doit permettre de satisfaire les DOE 8

années sur 10 et donc de ne plus gérer la crise que lors d'épisodes climatiques exceptionnels comme cela avait été défini dès la loi sur l'eau de 1992. Ce Vp est attribué et géré par une nouvelle personne morale publique ou privée appelée « organisme unique de gestion collective » (OUGC). Ce dernier, désigné par le préfet sur dossier de candidature, doit être fondé à représenter les irrigants.

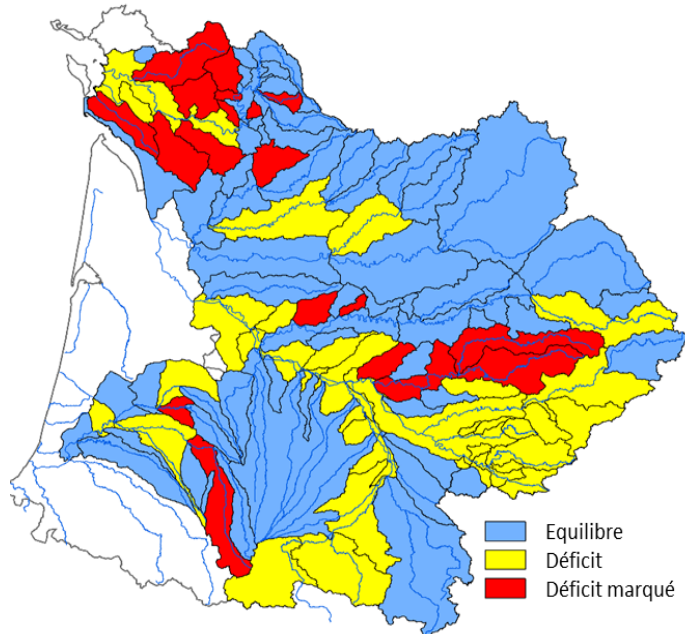


Figure 1 : Carte des unités de gestion de l'eau en déficit hydrique sur le bassin Adour-Garonne, suite au processus de négociation sur le Volume prélevable (Vp) (Source : DREAL Midi-Pyrénées).

1.3 Une profession agricole qui défend l'irrigation et revendique une gestion de l'offre

La profession agricole n'a pas accueilli favorablement cette réforme des volumes prélevables. En zones de grandes cultures, l'intérêt principal de l'irrigation est de permettre de conduire des cultures irriguées, majoritairement du maïs, sur des sols souvent considérés comme inadaptés aux céréales d'hiver ou aux cultures de printemps en sec. Le maïs valorise très bien l'eau, il a une très forte productivité potentielle et une des plus fortes marges brutes par hectare irrigué (Levy et al., 2005).

Le syndicat agricole majoritaire estime que la nouvelle réglementation met en danger la viabilité des exploitations et des filières agricoles en place parce qu'elle conduit à des restrictions récurrentes sur l'irrigation (Pagnol, 2013). La profession agricole demande que l'offre et les modalités de gestion soient adaptées aux besoins du secteur agricole. Elle envisage deux leviers d'actions : la révision des DOE et la construction d'ouvrages de stockage de l'eau. Il est en effet communément accepté que les DOE sont un construit social et scientifique dont l'objectivation est problématique (Fernandez et Trottier, 2012). En ce qui concerne la construction de nouvelles retenues, malgré une volonté financière de l'Etat (MAAPRAT et MEEDDTL, 2011), il devient difficile de trouver des sites et des maitres d'ouvrage (Debril et Therond, 2013).

1.4 De nouveaux enjeux de recherche et développement

Un enjeu est désormais d'outiller ces OUGC, mais aussi les autres gestionnaires de l'eau et décideurs politiques, pour leur permettre de gérer au mieux la ressource en eau. Il s'agit en particulier de concevoir des outils qui permettent de répartir les volumes accordés à l'irrigation (Vp) entre les irrigants de manière équitable, de définir les modalités de gestion en cours de campagne d'irrigation lorsqu'il y a un risque de passage sous le DOE et d'anticiper et mieux gérer les crises de gestion quantitative de l'eau (GQE). Un autre enjeu consiste à concevoir des systèmes agricoles, innovants, robustes, résilients, bien insérés dans les territoires et les filières qui permettent de limiter les crises de GQE tout

en conservant un revenu décent aux agriculteurs. L'article présent s'intéresse à ce dernier objectif, pas forcément partagé *a priori* par toutes les parties concernées, et présente une approche ayant pour but de concevoir et évaluer avec les acteurs d'un territoire à déficit hydrique chronique des distributions spatiales de systèmes de culture en vue de limiter les crises de gestion quantitative de l'eau.

2. Le site d'étude

Le bassin Adour Garonne (BAG) est un bassin représentatif des enjeux de la GQE : il présente un déficit pluviométrique estival marqué ; les réserves stockées sont insuffisantes en année sèche, ou leur position n'est pas adaptée à l'intensité et la distribution spatiale des prélèvements agricoles dans les bassins versants. Par conséquent, les pouvoirs publics cherchent à réduire les déficits en diminuant les prélèvements pour l'irrigation. Selon l'Agence de l'Eau Adour-Garonne, l'irrigation est responsable de 70% des prélèvements du bassin en période d'étiage. Malgré les stocks d'eau alloués à l'irrigation et au soutien d'étiage, il est impossible de satisfaire les débits d'objectif d'étiage, voire les débits de crise dans de nombreux sous-bassins.

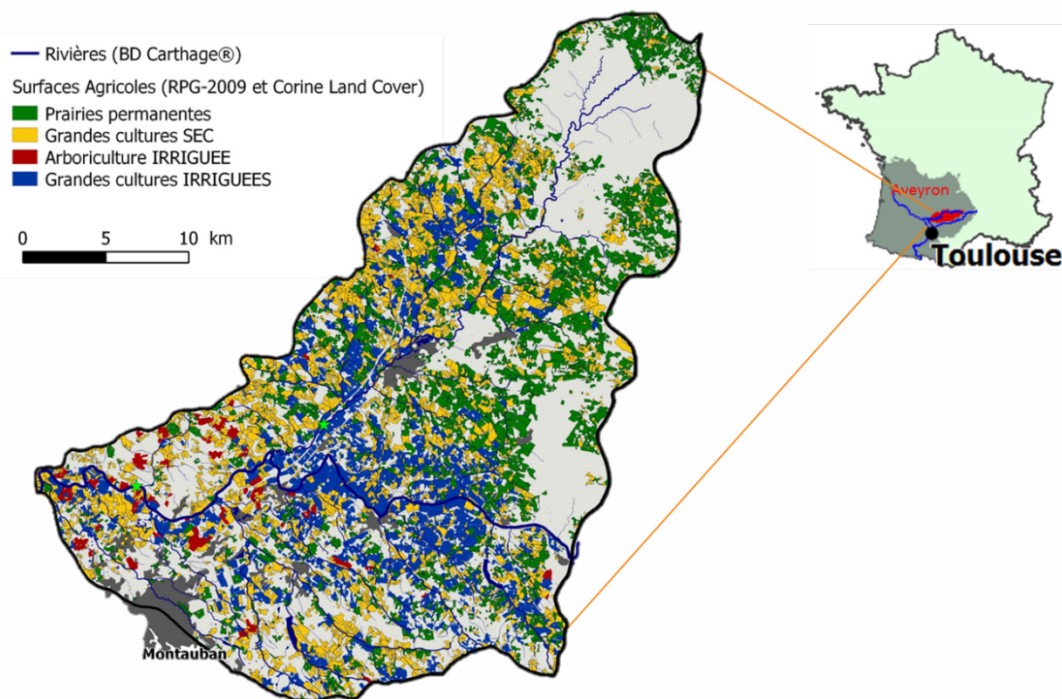


Figure 2 : Localisation du territoire irrigué en région Midi Pyrénées et à l'aval du BV Aveyron. Présentation du registre parcellaire graphique : îlots irrigables, surfaces toujours en herbes et autres îlots.

Le territoire d'étude a été choisi pour son caractère représentatif des enjeux de gestion quantitative de l'eau en Adour-Garonne (identification collaborative avec l'Agence de l'Eau), notamment le dépassement récurrent du DOE lié à l'irrigation. Il correspond à la partie du bassin de l'Aveyron située en aval des Causses du Quercy. C'est un espace dominé par la grande culture céréalière, la production de semences et l'arboriculture. La diversité des systèmes de productions est importante. L'élevage, surtout bovin et en déclin, a été repoussé sur les zones de coteaux et de causses périphériques. La surface de notre terrain d'étude est d'environ 840 km², avec une SAU d'environ 40 000 ha dont 26% de surfaces toujours en herbe, et 34% de surface irriguée entre 2007 et 2009 répartis au sein de 1150 exploitations. 43% de ces exploitations pratiquent l'irrigation sur environ 38% de leur SAU. Les volumes prélevés pour l'irrigation dans le secteur représentent environ de 15 à 20 hm³ selon le type climatique

de l'année, soit 70% des prélèvements pour l'irrigation sur le BV Aveyron. Le déficit hydrique en année quinquennale sèche est estimé à environ 7 hm³ soit plus d'un tiers des prélèvements.

Sur ce territoire, comme dans d'autres, d'importants problèmes de communication et de gestion des antagonismes existent entre les acteurs de la gestion de l'eau et ceux de la gestion des espaces dès lors qu'il s'agit de mettre en œuvre une « gestion spatiale de l'eau » (Narcy et Mermet, 2003 ; Gober et al., 2013). Les premiers sont représentés par l'administration en charge du respect de la loi sur l'eau et les milieux aquatiques (LEMA 2006) (DDT et police de l'eau), les gestionnaires opérationnels et financiers de l'eau (Conseil Général du Tarn-et-Garonne), ainsi que les acteurs du territoire qui participent à la protection et la défense des milieux aquatiques (fédération de la pêche, association environnementale, bureaux spécifiques des collectivités). Les seconds sont avant tout les agriculteurs, et par extension la diversité des représentants de la profession. Gestionnaires des sols de l'espace agricole, ils sont responsables des pratiques d'assolement et de culture à l'origine de la demande en eau.

3. Une approche basée sur la participation et la modélisation

En tant qu'agronomes du territoire, nous avons voulu nous intéresser aux systèmes de culture et à leur distribution spatiale. Nous avons pris comme hypothèses que (i) les parties prenantes de la GQE ont une vision des possibilités de changement pour résoudre leurs problèmes qui font entre autres appel à la distribution spatiale des pratiques agricoles, (ii) qu'elles peuvent l'exprimer à l'échelle du territoire en prenant en compte leurs enjeux propres (économiques, techniques et organisationnelles) et, (iii) que les outils de la modélisation peuvent aider à formaliser ces visions et à les évaluer. Nous avons donc mis en place un dispositif permettant de faciliter l'expression et la formalisation des visions portées par les différents acteurs (Salter et al., 2010) du territoire sur les solutions aux problèmes de GQE de celui-ci. Ce dispositif est basé sur la participation et la modélisation (Participatory and Modelling Assessment, Pahl-Wostl et al., 2000 ; Tol et Vellinga, 1998). Prenant acte de la situation de conflit existant entre les acteurs agricoles et les gestionnaires de l'eau et environnementalistes, deux groupes distincts ont été constitués et le travail a été conduit en parallèle avec chacun des groupes de manière à favoriser leurs implications et expressions spécifiques. Des sessions consultatives et collaboratives ont permis au collectif acteurs-chercheurs d'interagir avec des objets intermédiaires (boundary objects) pour faciliter les échanges d'information (Barreteau et al., 2010). Ainsi, nous avons utilisé la modélisation, conceptuelle et informatique, comme un outil de facilitation aidant les acteurs à confronter leurs points de vue et représentations du système de référence et les chercheurs à formaliser le discours des parties prenantes d'une problématique. Nous avons également utilisé des méthodes participatives pour explorer la diversité des points de vue (mapping out diversity), et non pour atteindre un consensus (reaching consensus, Van Asselt et al., 2002). Par la suite, la simulation par modèle informatique a permis de proposer une évaluation quantitative des visions exprimées par les acteurs.

Notre démarche de conception participative se décompose en trois grandes étapes classiquement mises en œuvre dans les travaux de conception de système (Martin et al., 2012) : la représentation de la situation actuelle, la conception du changement, et l'évaluation de ce changement. Dans notre cas, ces trois étapes sont : (i) la représentation partagée du système de territoire irrigué dans un modèle informatique spatialement explicite, (ii) la co-conception de propositions de changement et formalisation dans ce modèle informatique et (iii) l'évaluation de ces solutions par rapport au problème posé. Pour pouvoir produire des innovations, c'est-à-dire des changements concrets sur le terrain, ces trois étapes sont amenées à être revisitées plusieurs fois lors de cycles itératifs de conception.

3.1 Co-représenter le territoire

La construction d'une représentation partagée du territoire irrigué avait pour objectif de fournir aux acteurs un objet intermédiaire, accepté par tous, permettant de formuler des changements dans la

distribution spatiale des pratiques agricoles et la GQE par rapport à la situation actuelle (système de référence).

Pour construire cette représentation, nous avons mis en œuvre une démarche de spatialisation des sols et des systèmes de culture dans le territoire permettant de décrire et localiser les pratiques culturales à l'échelle territoriale. Cette démarche est décrite dans un article scientifique (Murgue et al., soumis) et résumée dans la Figure 3. Elle est basée sur l'hybridation de connaissances issues de bases de données développées de manière générique sur l'ensemble du territoire français (par exemple le Registre Parcellaire Graphique et les cartes de sol) et de connaissances locales, issues de bases de données locales (par exemple des cartes de sols plus précises) ou de savoirs d'acteurs. Nous avons eu en particulier recours à un atelier de zonage à dire d'acteurs (cartographie participative) et à des enquêtes en exploitation agricole. Au-delà, des données sur les pédoclimats et l'agriculture, cette représentation intègre également des données sur les ressources en eau et les équipements hydrauliques (ex. réseaux d'irrigation). L'intégration de ces différentes sources de données a été réalisée au travers d'allers-retours entre des analyses de bases de données et des entretiens auprès d'experts.

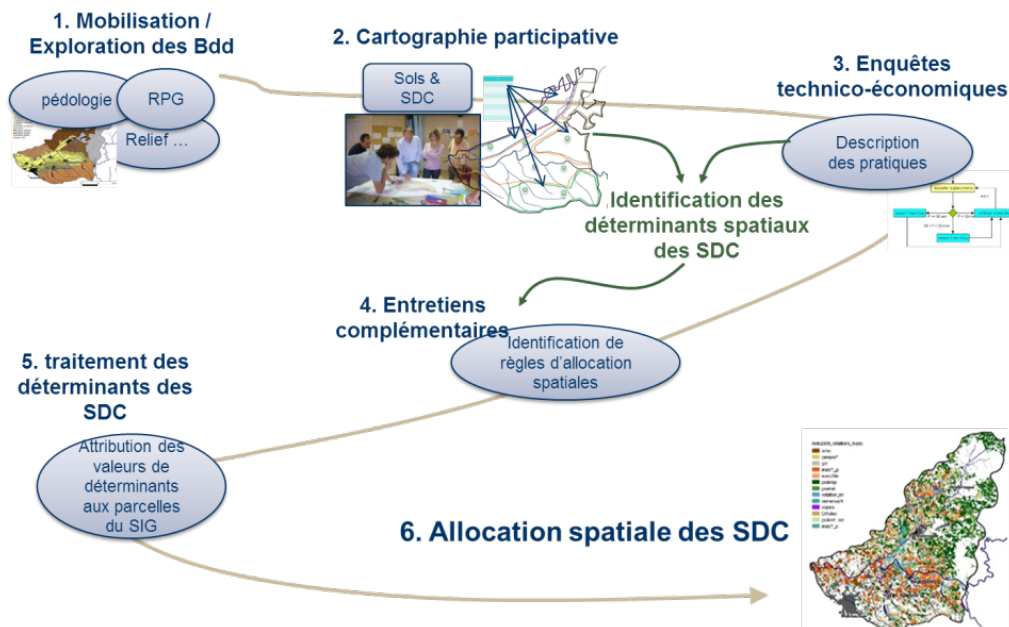


Figure 3 : Itinéraire méthodologique utilisé pour décrire les systèmes de culture (SDC) du territoire et les distribuer dans l'espace.

Ce travail, inspiré du processus d'hybridation de l'information présenté dans les travaux de diagnostic territorial développés par Lardon et Pivetot (2012), a permis de développer un Système d'Information Géographique (SIG) formalisant la structure du territoire d'étude. Il intègre une description de rotations de culture types, leur distribution dans les îlots des exploitations du Registre Parcellaire Graphique rattachés à des zones paysagères identifiées par des critères pédologiques et géomorphologiques, et une liste de déterminants de leur mise en œuvre dans le parcellaire (Tableau 1).

En parallèle, sur la base de la plateforme de modélisation et simulation MAELIA (Therond et al., 2014), nous avons développé un modèle multi-agent représentant les processus clés de la situation de gestion de l'eau : les systèmes de culture (pratiques agricoles décrites sous formes de règles de décisions et associées aux zones paysagères et rotations types), la croissance des cultures,

l'hydrologie des ressources en eau de surface et souterraines, la gestion des barrages et des restrictions d'usage. Murgue et al. (2014) présentent plus en détail ce modèle de territoire et ses performances.

Tableau 1 : Eléments principaux du SIG construit pour représenter le système de référence

Elément du territoire	Informations disponibles
Parcelles cultivées	surface, séquence 2006-09, système de culture pratiqué (rotation + ITK)
Ilots de culture	surface, géolocalisation, forme, pente, <i>irrigabilité</i> , % surfaces irriguée
Exploitations	SAU, assolement 2009, % surfaces irriguée, élevage, classe d'âge, forme juridique
Ressources	géolocalisation (cours d'eau et nappes d'accompagnement, plan d'eau)
Points de prélèvement	géolocalisation, type de ressource
Morpho-pédologie	type de sol, zone morpho-pédologique, zone paysagère.

3.2 Concevoir et formaliser des alternatives

Le dispositif participatif de conception a été conçu pour répondre à des enjeux d'ordre méthodologique et contextuel. Du point de vue méthodologique, l'enjeu était de (i) conduire les acteurs à exprimer le plus clairement possible leurs visions des changements possibles, pertinents et acceptables à l'échelle du territoire d'étude, (ii) identifier les concepts (objets, échelles spatiales et temporelles, critères) qu'ils mobilisent et (iii) déterminer leurs objectifs (enjeux) dans la mise en œuvre de ces changements et leurs critères pour évaluer l'efficacité de ceux-ci.

Du point de vue contextuel, l'enjeu était de dépasser la situation conflictuelle entre défenseur de l'environnement et monde agricole. Nous avons pour cela sélectionné des personnes qui avaient participé au processus d'hybridation des connaissances et qui s'étaient montrées intéressées par notre approche. Nous avons aussi proposé une séquence où nous demandions aux participants d'exprimer leurs attentes vis-à-vis du processus, et expliqué clairement pourquoi certaines ne rentraient pas dans les objectifs de l'atelier, sans pour autant renier le besoin de débat sur celles-ci (ex. la création de nouvelles ressources pour l'irrigation). Mais surtout, nous avons fait le choix de conduire les réflexions au sein de deux groupes distincts de parties prenantes dont les positions sur le débat de la GQE convergeaient *a priori* : l'un avec des personnes de la profession agricole, et l'autre avec les gestionnaires de l'eau et environnementalistes pouvant être considérés comme les « garants » des milieux aquatiques.

La difficulté de l'exercice de conception à l'échelle du territoire résidait dans le fait que l'objet territoire n'est pas obligatoirement manipulé au quotidien par tous les acteurs (ex. les acteurs agricoles réfléchissent souvent leurs pratiques à l'échelle de leur exploitation). En outre, le territoire est un système complexe du fait des interactions entre pratiques agricoles, processus écologiques (hydrologie, croissance des cultures) et gestion des ressources en eau. Pour faire face à ces difficultés, nous avons abordé la complexité du territoire de manière progressive et toujours en référence à la situation actuelle. Plus précisément, chacun des deux ateliers s'est déroulé de la manière suivante : présentation des objectifs de l'atelier, discussion sur les attentes des participants vis-à-vis du projet, centrage sur une question précise : « Sur le territoire, quels changements dans les systèmes de culture ou pratiques de gestion de l'eau pourraient permettre d'assurer la viabilité des exploitations et favoriser une gestion quantitative durable de l'eau ? », puis expression par les acteurs d'options de changement à l'issue d'une phase de brainstorming dirigé suivie d'un travail individuel et collectif d'organisation et de priorisation des idées exprimées, enfin les acteurs ont collectivement décrit dans le détail les options de changements sélectionnés. On peut résumer notre posture en disant que nous avons posé la question du changement de la manière chronologique suivante: Que faire ? Pourquoi ? Dans quelles conditions ? Où ?

Le travail de formalisation des options de changement exprimées par les acteurs a été réalisé en laboratoire et a suivi deux étapes. Dans un premier temps, les documents produits pendant les ateliers, et notamment la retranscription de l'enregistrement des sessions, ont permis au chercheur de traduire le discours du groupe sur chaque option de changement en concepts représentables dans le SIG représentant le terrain d'étude. Par le développement de connaissances partagées entre chercheurs et acteurs, le travail de construction et de formalisation de la représentation partagée de la situation actuelle a permis de faciliter grandement cette opération de traduction et de minimiser les biais liés à cette opération. Puis, dans un deuxième temps, nous avons utilisé les méthodes de la géomatique pour formaliser dans le SIG ces options de changement.

Murgue et al. (2015) décrivent plus précisément cette étape de co-conception et formalisation d'options de changement.

3.3 Evaluer les alternatives grâce au modèle multi-agent

Le modèle multi-agent basé sur la plateforme MAELIA développé durant la première étape de la démarche a été utilisé pour simuler sur une série d'années climatiques passées (2000-2010) les effets des options de changement sur les débits des principaux cours d'eau du terrain d'étude. Ce modèle avait été précédemment validé avec les acteurs impliqués dans les travaux de modélisation de cette première étape. Ainsi, les quantités d'eau prélevées annuellement par sous-bassin, les dynamiques de prélèvement mais aussi la temporalité des opérations techniques simulées (ex. date de semis, tour d'eau d'irrigation) ont été discutées avec ces acteurs. Ces discussions ont permis d'adapter le modèle (par exemple d'intégrer les contraintes d'utilisation du matériel d'irrigation) et de le calibrer afin d'obtenir un comportement du modèle accepté par tous. Cette phase d'exploration et de validation du modèle s'est révélée essentielle dans la construction d'une représentation partagée du fonctionnement du terrain d'étude entre chercheurs et acteurs.

4. Les premiers résultats

De nombreuses propositions d'options de changement ont émergé des ateliers de co-conception. A titre d'exemples, nous reportons ici l'ensemble des idées proposées par le groupe des gestionnaires et environnementalistes (Tableau 2) et, pour le groupe des agriculteurs, les trois options de changement sélectionnées et approfondies par les participants (Tableau 3).

Pour le collectif agricole, les objectifs recherchés sont d'économiser l'eau et de répartir les prélèvements en eau au fil de l'année culturale, mais aussi d'améliorer la mise à disposition des volumes stockés par une meilleure transmission au gestionnaire, au fil de l'année, d'information sur les pratiques agricoles. Ces idées ne sont pas en rupture avec la situation actuelle. Les trois options de changement sélectionnées et approfondies par le groupe agricole (Tableau 3) concernent les systèmes de culture et leur distribution dans le territoire. Elles touchent aux pratiques de rotation des cultures, de date de semis et de choix de variété. La combinaison de deux cultures sur une année culturale (céréales d'hiver puis tournesol peu ou pas arrosé) a été proposée comme solution alternative au maïs présentant une marge brute du même ordre de grandeur. Pour toutes les options, le groupe a donné des descriptions précises sur les modalités de changement, la localisation des surfaces concernées via un critère pédologique, et sur les conditions de mise en œuvre (% maximal de la sole concernée dans l'exploitation).

Tableau 2 : Idées de changement issues du brainstorming de l'atelier « garants de la LEMA », résultats bruts. Le symbole '*' reprend le *scoring* des participants, indiquant les idées qui leur paraissaient les plus intéressantes à approfondir.

Groupe	Idée	Précision/reformulation
Réorganiser le territoire ••••	Rotations, assolements diversifiés	Fin de la monoculture : Pratiques de rotations de culture jusqu'à 6 ou 7 années,
	Favoriser les cultures peu/pas irriguées	Utiliser des cultures en sec, ou des cultures peu irriguées Gouvernance par des incitations financières, de la communication.
	Alimentation directe	Cultures destinées à l'alimentation humaine, qui peuvent être commercialisées localement, en circuits courts (moins de cultures destinées à l'alimentation animale)
	Fragmentation parcellaire	Réintroduire bocage pour reconstituer la réserve hydrique (stock dans les haies) ; Quelle surface d'un tenant pour obtenir des rendements satisfaisants ?
	Favoriser l'élevage en tête de bassin	Remplacer les surfaces irriguées en amont par de la prairie pour limiter les prélèvements en petits cours d'eau non réalimentés. Incitations financières.
	Adéquation nouvelles cultures et filières aval	Filières de valorisation structurées sur le département pour des cultures alimentaires
Optimisation par le collectif	Retenues structurantes existantes	Remplacer les petites retenues par quelques grosses : optimiser les grandes retenues existantes, Substitution des prélèvements individuels en cours d'eau par des prélèvements sur réseau collectif réalimenté.
Gouvernance participative, responsabilisation •••••	Participation active profession	Collecter des données sur les quantités prélevées pour faciliter la gestion des étiages ; Favoriser la gestion au quotidien de manière concertée entre les gestionnaires et la profession agricole.
	Calendrier des prélèvements	Fixer a priori un calendrier de prélèvement, co-construit, puis l'ajuster en cours de saison de manière régulière. Responsabiliser les irrigants.
	Co-construction	Tous les acteurs du bassin doivent participer à un plan eau pour l'avenir, prise en compte des problèmes amont aval ;
Adéquation demande/offre ••••	Eau zéro	Supprimer l'irrigation. Repenser l'usage en fonction de la ressource disponible.
	dé-irrigation ciblée	Co-construire une organisation selon la structure du réseau hydrographique : Spécialisation des zones réalimentées pour l'irrigation (aval des bassins versants)
	Equilibrer	
Economiser •	Techniques d'irrigation	Matériel plus économe (efficacité)
	Pratiques d'irrigation	Pratiques plus économes : que le nécessaire sur la base d'information
Réglementaire	Interdire en zone/période à risque	A partir d'une date (début juillet), les prélèvements ont un impact très important sur les petits cours d'eau, les interdire
Sociétal ••	Agriculture communautaire	Solidarité agricultures irriguées/non-irriguées dans une logique amont aval (financière, échange fourrages).
Stockage naturel ••	Sols : TCS et 0 phytos	Raisonner les pratiques pour améliorer la capacité du sol à retenir l'eau (Matière organique, structure)
	Zones humides	Maintien et réhabilitation des zones humides initialement présentes pour les services environnementaux qu'elles procurent.

Tableau 3 : Options de changement approfondies lors de l'atelier avec le groupe agricole. Certaines se rejoignent dans les concepts qu'elles manipulent, nous avons choisi de les regrouper en *groupes d'options*.

Groupe d'Options	Option	Objectifs	Situation actuelle	Localisation	Modalités
Jouer sur les dates de semis et les précocités en maïs grain	Semis précoce / Variétés précoces Alternative1	Décaler le pic de besoin (floraison) à une période moins critique (plus tôt), tout en visant le marché "e soudure avec des prix hauts.	sole maïs grain	Terrasses, terres les plus "chaudes"	Le rendement envisagé est plus bas ; Le marché de soudure n'existe plus vraiment ; Moins de frais de séchage ;
	Semis précoce / Variétés tardives	Assurer des rendements très élevés en décalant la floraison où les restrictions ne sont pas commencées, tout en recherchant les orages de fin de saison.	sole maïs grain	Terrasses, hors boubènes hydromorphes	
	Semis précoce / Variétés Précoces en sec	Utiliser des variétés très précoces (indice < 300), récoltées en septembre	sole maïs grain	Coteaux, profonds	Sur les coteaux Argilo-calcaires, où la RU est plus grande ; impossible sur les coteaux du Gouyre sauf rares zones profondes
Mettre les monocultures de maïs en rotation	Céréales d'hiver Maïs (x1à5) / blé Alternative2	Limite les prélèvements à l'échelle de l'exploitation et les pics de travail durant l'été en gardant un potentiel de marge intéressant,	sole maïs monoculture	Terrasses, hors boubènes hydromorphes	Possible tous les 2 ans, si : - les réserves en eau sont vides en fin d'été ; - les périodes de semis sont favorables (climat) ; - le prix long terme est favorable
	Sorgho Maïs (2à4) / Sorgho	Rendement élevés, limite les prélèvements et les pics de travail durant l'été	sole maïs monoculture	Terrasses, hors boubènes hydromorphes	Possible tous les 3 à 5 ans car le Sorgho "assèche" les sols Inconnue sur le prix/débouchés problématique
Intensifier la production en sec	Tournesol après céréale d'hiver ex. orge-tournesol / maïs	Tournesol semé fin juin après une céréale d'hiver, irrigué à deux tours d'eau	sole céréale d'hiver	Terrasses, terres les plus "chaudes"	couteux en travail et en équipement

Le collectif des gestionnaires et environnementalistes a adopté une approche plus territoriale. Les participants ont orienté leur réflexion sur des situations problématiques (un type de pratique de culture sur un type de ressource, dans un contexte paysager) plutôt que sur un levier d'action au sein de l'ensemble du territoire. Le groupe s'est attaché à localiser les zones d'action prioritaires pour le changement en citant des critères de proximité à certains types de ressource et des zones paysagères cibles. Ils ont aussi choisi de créer un groupe d'options « réorganisation du territoire » qui articule plusieurs types d'idées (techniques, organisationnelles, spatiales) à plusieurs niveaux d'organisation (parcelle, exploitation, unité hydrologique, territoire). Certaines propositions sont en rupture avec le système actuel (e.g. circuits courts, agriculture communautaire) dont certaines concernent les pratiques agricoles (e.g. développement de l'élevage herbager en tête de bassin, ou des techniques culturales simplifiées (TCS) sans phytosanitaire). Cependant, si certaines options décrites par les gestionnaires et environnementalistes touchent aux systèmes de cultures, elles se limitent au choix d'espèces. Enfin, le collectif a aussi fait des propositions concernant des aspects de gestion opérationnelle de l'eau (planification des lâchers en fonction des besoins).

Seules les alternatives sélectionnées et approfondies par les acteurs ont été formalisées et évaluées. Nous présentons ici les évaluations de deux alternatives proposées par les agriculteurs (Tableau 3). L'alternative 1, consistant à semer plus tôt des maïs plus précoces, visait à décaler le cycle du maïs afin d'arrêter l'irrigation plus tôt dans la saison et donc limiter leur impact sur les étiages. L'alternative 2, consistant à limiter la pratique de la monoculture en maïs grain par l'introduction de céréales d'hiver dans la rotation, visait à réduire les surfaces irriguées, donc les prélèvements en eau, en vue de réduire le déficit du bassin. Ces alternatives ont été considérées comme acceptables par les agriculteurs si

seulement 20% de la sole de maïs de l'exploitation agricole était affectée par les changements pour l'alternative 1 et 40% pour l'alternative 2.

L'implémentation de ces deux alternatives, y compris en poussant les changements au-delà des seuils d'acceptabilité proposés par les agriculteurs, montre que l'impact sur la réduction du déficit en eau du bassin est potentiellement très limité, et sans rapport avec les objectifs poursuivis (Figures 5 et 6).

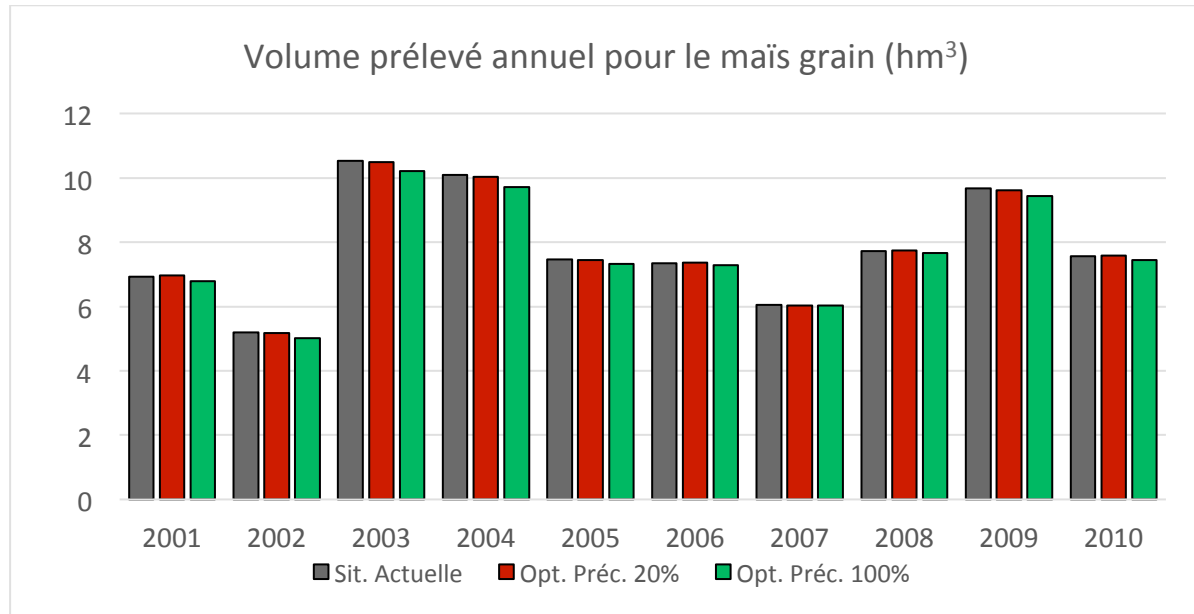


Figure 5 : Evaluation des prélèvements d'eau (hm³) des surfaces en maïs grain pour la situation actuelle (gris), le scénario proposé pour lequel 20% de la sole de maïs de l'exploitation sont concernés par le changement (alternative 1, rouge) et une variante où toute la sole de maïs est concernée par le changement (barre verte). L'alternative 1, telle que proposée, consiste à introduire du maïs plus précoce et semé plus tôt dans la sole, à hauteur de 20% de celle-ci. On constate que cette alternative ne conduit pas à des économies d'eau significatives. Si on modifie 100% de la sole de maïs, l'économie d'eau reste marginale (moins de 0.1 hm³)

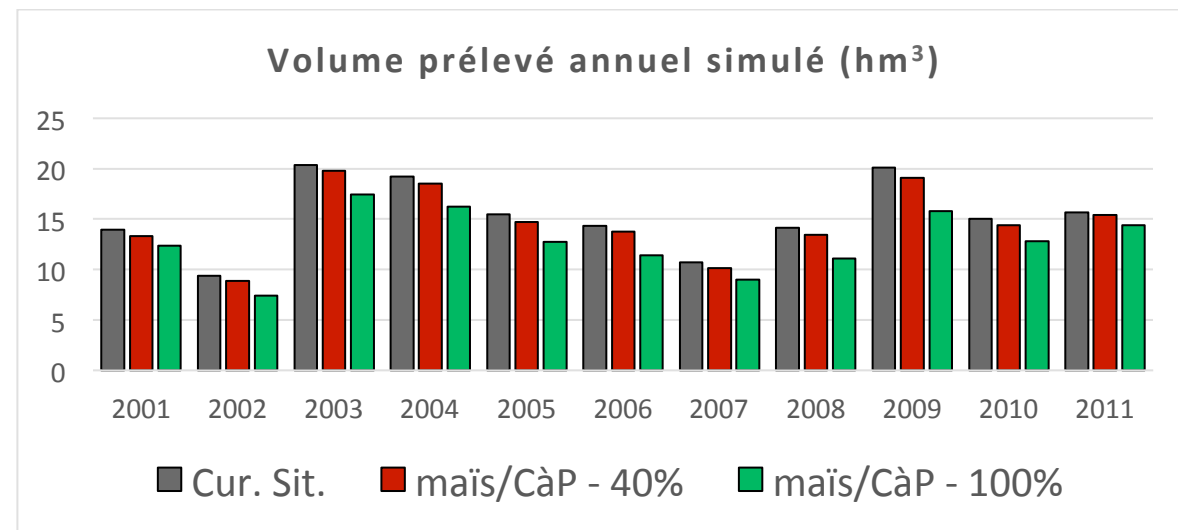


Figure 6 : Evaluation des prélèvements d'eau (hm³) des surfaces irriguées pour la situation actuelle (gris), le scénario proposé pour lequel 40% de la sole de maïs de l'exploitation sont remplacés par une rotation maïs/maïs/céréale (alternative 2, rouge) et une variante où toute la sole de maïs en monoculture est concernée (en vert). On constate que les économies d'eau deviennent significatives dès lors que l'ensemble des monocultures de maïs est remplacé par des rotations, mais que ces économies d'eau ne dépassent pas 5 hm³.

5. Un processus encore en cours

Les premiers résultats obtenus montrent clairement qu'il reste du chemin à parcourir pour identifier des solutions permettant de rétablir un équilibre entre prélèvements agricoles et ressources en eau, l'objectif de la Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques. Cependant, nous avons présenté ici un premier cycle de notre démarche de conception d'innovations territoriales pour une meilleure GQE. La démarche initiée doit être poursuivie en complétant l'évaluation des scénarios produits par des critères économiques et sociaux et par un retour vers les acteurs locaux pour discuter de ces premiers résultats d'évaluation et initier un nouveau cycle de conception et évaluation de nouvelles alternatives, plus créatives, pour le territoire.

Même si, à ce stade, les propositions faites ne peuvent à elles seules solutionner les problèmes de gestion quantitative de l'eau du bassin, des constats intéressants peuvent néanmoins être faits suite à cette expérience.

Un premier constat est que le processus mis en place a eu une influence sur les positions des deux groupes d'acteurs participants l'un vis-à-vis de l'autre et a fait évoluer des personnes ayant refusé de prendre part à l'exercice. Ainsi, la démarche de conception d'alternative en groupes séparés a eu pour effet de susciter la curiosité d'un groupe envers l'autre. Alors que chacun des groupes avait fait part de son refus de collaborer avec l'autre de peur de l'enlisement des discussions sur les sujets de conflit, au fur et à mesure du dispositif, les participants des deux groupes ont exprimé leur envie de travailler ensemble dans un prochain atelier de conception. Pour l'instant, seule une restitution en commun à la fin de l'été 2014 a pu être réalisée. Elle a cependant mobilisé des acteurs importants du sujet, par exemple le président de la chambre d'agriculture et le directeur de la DDT du Tarn et Garonne, lesquels ont exprimé des points de vue contrastés sur les résultats de l'exercice conduit. Parallèlement, l'intérêt des différentes parties pour l'exercice a suscité le démarrage d'un partenariat entre l'INRA et la DDT82 pour définir le cahier des charges d'un outil de gestion des étiages, avec la participation active de la CA82 aux réunions.

Un deuxième constat est la démonstration de l'intérêt du modèle de territoire pour simuler des alternatives et quantifier pour le territoire d'étude, l'effet possible de propositions classiquement avancées comme des solutions aux difficultés à respecter les DOE dans les bassins versants du BAG. Nous avons ainsi pu voir que les alternatives conçues, souvent peu créatives, ont un impact limité, voire nul ou inverse si elles sont mises en œuvre dans les proportions exprimées comme étant acceptables par les participants de la profession agricole. De plus, le modèle de territoire a permis de mettre à jour des résultats parfois contre-intuitifs. Ainsi, ces simulations mettent en lumière que : (1) remplacer une part des surfaces en monocultures de maïs par des cultures de céréales d'hiver pourrait n'avoir aucun ou très peu d'effet sur les débits, et cela pour diverses raisons (drainage des parcelles irriguées, utilisation de ressources alternatives par les agriculteurs, fort impact de l'hydrogéologie naturelle); et que (2) semer des variétés de maïs précoce permet effectivement de réduire la demande en eau agricole mais augmente le besoin en début de saison et donc peut conduire à des lâchers de barrages plus précoces.

Conclusion

Nous avons conduit ici une démarche de conception et d'évaluation d'alternatives de distributions spatiales de systèmes de culture en vue de progresser dans la résolution des problèmes de gestion quantitative de l'eau dans un bassin à déficit hydrique chronique. Cette démarche basée sur l'utilisation de la modélisation et de résultats de simulation dans un dispositif participatif de conception pose encore de nombreux problèmes méthodologiques. Du côté de la modélisation, le modèle de territoire développé est basé sur la plate-forme MAELIA, mais son instanciation sur le bassin d'étude a nécessité l'intégration de nouvelles fonctions à cette plateforme et a mobilisé de nombreuses bases de données. Il est à prévoir que l'instanciation sur de nouveaux bassins nécessite un effort non négligeable de collecte de données,

voire de développement de nouvelles fonctionnalités. De même, les démarches participatives évoquées nécessitent un investissement sur le terrain important et sur plusieurs années. Dans ce contexte, et parce que ce n'est pas la vocation de la recherche d'outiller tous les bassins présentant des problèmes de pénurie d'eau, la recherche s'attache (1) à développer des méthodes génériques permettant aux acteurs des territoires de contribuer eux-mêmes à la conception d'innovations adaptées à leur propre situation et (2) à mettre en place des partenariats pour assurer le transfert des outils et méthodes qu'elle a développés vers les opérateurs de terrain.

Références bibliographiques

Barreteau, O., Bots P.W.G., Daniell K.A., 2010. A framework for clarifying "participation" in participatory research to prevent its rejection for the wrong reasons. *Ecology and Society* 15, 1. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol15/iss2/art1/>

Debril T., Therond O., 2013. Les difficultés associées à la gestion quantitative de l'eau et à la mise en œuvre de la réforme des volumes prélevables: le cas du bassin Adour- Garonne. *Agronomie Environnement & Sociétés*, 2, 10 [on line] <http://www.agronomie.asso.fr/carrefour-inter-professionnel/evenements-de-lafa/revue-en-ligne/revue-aes-vol2-n2-decembre-2012-assolement-et-gestion-quantitative-de-leau/revue-aes-vol2-n2-10/>

Fernandez S., Trottier J., 2012. La longue construction du débit d'étiage: l'odyssée d'une métamorphose (la gestion des cours d'eau du bassin Adour-Garonne). In: Papy F., Mahieur N., Ferrault C. (Eds.). *Nouveaux rapports à la nature dans les campagnes (ressources, institutions, habitants)*, Paris, Editions Quae, pp. 153-167.

Gober P., Larson K., Quay R., Polsky C., Chang H., Shandas V., 2013. Why Land Planners and Water Managers Don't Talk to One Another and Why They Should! *Society & Natural Resources: An International Journal* 26:3, 356-364. <http://dx.doi.org/10.1080/08941920.2012.713448>

Lardon S., Piveteau V., 2012. Méthodologie de diagnostic pour le projet de territoire : une approche par les modèles spatiaux. *Géocarrefour* 80, 75–90.

Levy J., Bertin M., Combes B., Mazodier J., Roux A., 2005. *Irrigation durable - Rapport CGGREF 2185* 38 p. + annexes.

Martin G., Martin-Clouaire R., Duru M., 2012. Farming system design to feed the changing world. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 33, 131–149. doi:10.1007/s13593-011-0075-4

MEEDDTL et MAAPRAT, 2011. *Plan d'adaptation de la gestion de l'eau - soutiens à la création de retenues d'eau et à l'adaptation des cultures*. 12 p.

Murgue C., Lardy R., Vavasseur M., Leenhardt D., Therond O., 2014. Fine spatio-temporal simulation of cropping and farming systems effects on irrigation withdrawal dynamics within a river basin. In: D.P. Ames, N.W.T. Quinn, A.E. Rizzoli (Eds.), *International Environmental Modelling and Software Society (iEMSs), 7th Int. Congress on Env. Modelling and Software*, San Diego, CA, USA, 9p. <http://www.iemss.org/society/index.php/iemss2014proceedings>.

Murgue C., Therond O., Leenhardt D., soumis. Hybridizing local and generic information to model cropping system spatial distribution in an agricultural landscape. *Agricultural Systems*,

Murgue C., Therond O., Leenhardt D., 2015. Towards sustainable water and agricultural land management: participatory design of social-agro-hydrological systems. *Land Use Policy* - sous presse.

Narcy J., Mermet L., 2003. Nouvelles justifications pour une gestion spatiale de l'eau. *Natures Sciences Sociétés* 11, 135–145. doi:10.1016/S1240-1307(03)00043-8

Pagnol H., 2013. L'avis sur l'eau voté malgré l'opposition du groupe agricole. *Association Générale des Producteurs de Blé et autres Céréales*. <http://www.agpb.fr/cotations-a-depeches/depeches-du-jour/> (Consulté le 26 avril 2013)

Pahl-Wostl C., Schlumpf C., 2000. Models at the interface between science and society: impacts and options. *Integrated Assessment* 1: 267–280. <http://link.springer.com/article/10.1023/A:1018927120883>

Salter J., Robinson J., Wiek A., 2010. Participatory methods of integrated assessment-a review. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 1, 697–717. doi:10.1002/wcc.73

Therond O., Sibertin-Blanc C., Lardy R., Balestrat M., Hong Y., Louail T., Mayor E., Bai V., Taillandier P., Vavasseur M., Mazzega P., 2014. Integrated modelling of social-ecological systems : The MAELIA high-resolution multi-agent platform to deal with water scarcity problems. In: D. P. Ames, N. W. T. Quinn, A. E. Rizzoli (Eds.), 7th Int. Congress on Env. Modelling and Software. San Diego. 8 p.

Tol R.S.J., Vellinga, P., 1998. The European Forum on Integrated Environmental Assessment. *Waste Management* 3, 181–191.

Van Asselt M.B.A., Rijkens-Klomp N., 2002. A look in the mirror: reflection on participation in Integrated Assessment from a methodological perspective. *Global Environmental Change* 12, 167–184.