HAL open science

Répondre aux enjeux socio-économiques, de l'exploitation agricole au territoire

Delphine Leenhardt, Arnaud Reynaud

To cite this version:

Delphine Leenhardt, Arnaud Reynaud. Répondre aux enjeux socio-économiques, de l'exploitation agricole au territoire. Innovations Agronomiques, 2008, 2, pp.65-81. 10.17180/n1mp-9447 . hal-02659551

HAL Id: hal-02659551

https://hal.inrae.fr/hal-02659551

Submitted on 24 Jan 2023

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

Innovations Agronomiques (2008) 2, 65-81

Répondre aux enjeux socio-économiques, de l'exploitation agricole au territoire.

Delphine Leenhardt[1], Arnaud Reynaud[2]

[1] INRA, UMR 1248 AGIR, BP52627, 31326 Castanet Tolosan cedex

[2] INRA, UMR 1041 LERNA, Université Toulouse 1, 31042 Toulouse cedex

Mots clés : Territoire, sécheresse, conflit d'usage, gestion spatiale de l'eau, modèles de gestion intégrée, changement d'échelle, politiques publiques.

Résumé

La question de la sécheresse se pose à des échelles plus larges que la plante ou la parcelle. Pour aborder ces échelles plus vastes et les multiples interactions qui en résultent, l'INRA s'est engagé dans des travaux de développement d'outils nécessitant interdisciplinarité et partenariat.

A l'échelle de l'exploitation, le couplage d'un modèle agronomique et d'un modèle économique a permis de mesurer l'impact économique d'une sécheresse en France, en termes de capacité d'adaptation de l'agriculteur face au risque de sécheresse, et d'évaluer l'impact des politiques publiques de gestion de crise sur l'exploitation agricole.

A l'échelle d'un territoire, où l'agriculture interagit et se trouve en concurrence sur l'usage de l'eau avec d'autres activités, l'INRA développe des outils pour répondre à des préoccupations de court terme et de long terme. Ainsi, le développement d'un modèle d'estimation de la demande en eau d'irrigation puis des recherches en cours sur la conception d'une interface gestionnaire-usagers contribuent à une meilleure gestion stratégique de la ressource en eau. Pour améliorer la planification de la ressource, un modèle calculant l'allocation optimale de l'eau entre usages au sein d'un bassin de rivière est notamment en cours de développement. Il permettra par exemple l'évaluation de nouveaux systèmes de tarification.

Abstract

The problem of drought concerns scales larger than the crop or the field. To tackle such larger scales and the inherent numerous interactions, INRA is embarking on the development of tools involving interdisciplinarity and partnership.

At the farm scale, to evaluate the economical impact of a drought in French conditions, a crop model has been coupled with an economical model. It made it possible to evaluate the capacity of adaptation of farmers to a drought and to measure the effect of drought crisis management policies on farms.

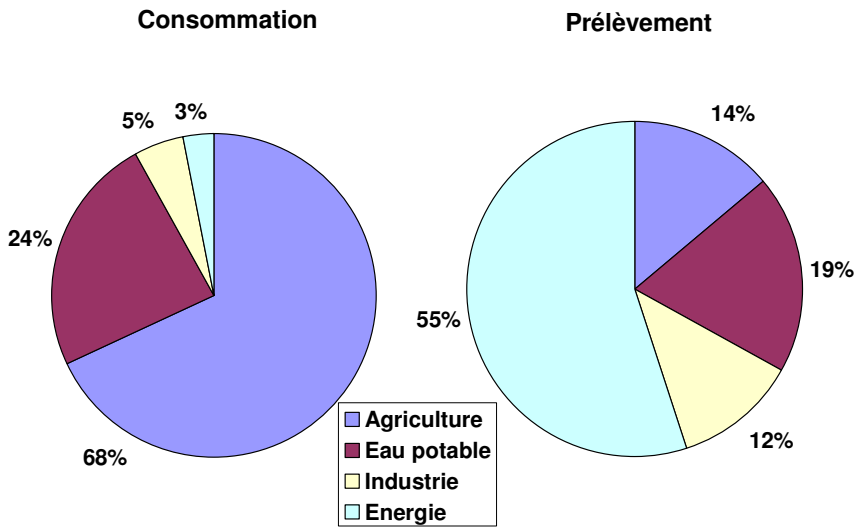
At a regional level, where agriculture interacts and competes for water with other activities, INRA develops tools for short term and long term issues. To improve strategic water management, a model of estimation of the regional irrigation demand has been developed and a current study aims at designing an interface between the water manager and the various water users. To improve water planning, a key work concerns the development of a model for optimal allocation of water between uses within a river catchment. It will allow for example the evaluation of new pricing devices.

1. Sécheresse, agriculture et territoire : les enjeux

Dans les interventions précédentes, le problème de la sécheresse pour les productions végétales a été traité à des échelles très locales : organe, culture, parcelle, voire groupes de parcelles. Or, ce problème de sécheresse se pose à des échelles plus grandes, de l'exploitation à des territoires de natures diverses (bassin versant, bassin de collecte, région, etc.). Au sein d'un territoire, au-delà d'une certaine taille, l'agriculture ne représente plus qu'une activité économique parmi d'autres ; de même, elle n'est qu'un usager de la ressource en eau parmi d'autres.

1.1 La place de l'agriculture comme usager de la ressource en eau

On a l'habitude d'identifier et de comparer quatre grands usages de l'eau : l'usage agricole (irrigation principalement), l'usage domestique (eau potable), l'usage industriel et énergétique, et l'usage environnemental qui correspond aux besoins en eau pour assurer un débit suffisant aux rivières pour satisfaire les besoins écologiques (vie des écosystèmes aquatiques) et récréatifs (pêche, canoë, etc.). On peut comparer les trois premiers usages en termes de consommation et de prélèvements (Figure 1) ; tandis que l'exigence en termes de débits permet de comparer les quatre usages.



Note : Les prélèvements correspondent à la quantité d'eau prise dans le milieu naturel, tandis que la consommation évalue les quantités d'eau prélevées, mais non renvoyées dans la nature après usage.

Figure 1 : Comparaison des usages agricoles, domestiques, industriels et énergétiques en termes de consommation et de prélèvement. (Source : IFEN, 2002)

L'irrigation représente en moyenne 68% des consommations mais avec une forte variabilité dans le temps et dans l'espace : cette part de consommation peut aller jusqu'à 90% durant l'été et dans le sud-ouest. La production d'énergie et l'usage industriel ont une consommation bien plus faible (respectivement 5% et 3% environ), mais des prélèvements très élevés et des rejets pouvant poser des problèmes de qualité. L'usage d'eau potable consomme 24% de la ressource en eau. L'exigence en débit de l'agriculture irriguée peut être très forte (jusqu'à 30 m^3/s), alors que l'alimentation en eau potable ou le soutien d'étiage ne nécessite pas plus de 5 m^3/s. On peut également mesurer l'exigence de l'agriculture par rapport à l'exigence de l'environnement en termes de volumes injectés dans un système hydraulique par un gestionnaire. Par exemple, dans le cas du système Neste (coteaux de Gascogne), le gestionnaire (CACG) a injecté 133 millions de mètres cube sur la période estivale (juin à septembre 2006), dont 41% pour satisfaire des besoins agricoles et 54% pour des besoins environnementaux.

1.2 L'agriculture, activité inscrite dans un territoire

Dans une perspective de développement durable des territoires, on ne peut ni considérer l'agriculture indépendamment des autres activités, ni juger la performance de l'agriculture et des autres activités sur un seul critère, qu'il soit économique, social ou environnemental. Une approche multi-activité (multi-usage) et multicritère s'impose. En ce qui concerne la gestion de la ressource en eau, la loi sur l'eau de 1992 impose aux Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) de « fixer pour chaque bassin ou groupement de bassins les orientations fondamentales d'une gestion équilibrée de la ressource en eau ». De même, la Directive Cadre Européenne sur l'Eau (DCE)[1] a des exigences d'atteinte du bon état écologique des masses d'eau. Ces exigences conduisent à la mise en place de nombreuses préconisations portant sur la gestion des espaces : par exemple, préserver les champs d'expansion de crues, lutter contre l'imperméabilisation des sols, protéger les nappes phréatiques en contrôlant l'usage des espaces dont elles dépendent, etc. Pour les gestionnaires de l'eau, vouloir mettre en œuvre des préconisations de ce type, c'est entreprendre d'influencer divers modes d'occupation des sols, c'est chercher à jouer sur la régulation des usages des espaces pour des objectifs de gestion de l'eau et à développer ce que Narcy et Mermet (2003) appellent une « gestion spatiale de l'eau ».

1.3 Les enjeux de la gestion spatiale de l'eau

Les enjeux socio-économiques

Le devenir de l'agriculture, des villes, et même de certaines industries, dépend d'abord de la disponibilité de ressources en eau. On sait les difficultés que représente l'allocation de ces ressources entre les usagers, notamment lors des épisodes de sécheresse. Plusieurs évolutions lourdes rendent cette tâche à la fois plus difficile et plus déterminante pour les activités humaines :

- Le changement climatique en cours laisse prévoir des modifications significatives du cycle de l'eau, avec des impacts régionaux importants sur les précipitations ou les températures[2] ainsi qu'une augmentation de la fréquence des phénomènes extrêmes (risques de sécheresses ou bien d'inondations).[3]

- La société française continue à se transformer, bouleversant les équilibres traditionnels entre les villes, les industries et les espaces ruraux ; en particulier, les agglomérations urbaines du sud de la France ont vu leur population augmenter rapidement, et en conséquence, les exigences en termes de besoins en eau potable se sont accrus et concentrés sur ces zones alors que les disponibilités en eau en été y sont faibles.

[1] Directive 2000/60/CE du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau, transposée en droit français par la loi n°2004-338 du 21 avril 2004.

[2] La température moyenne sur la planète pourrait, d'après les projections du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), s'élever de l'ordre de 1 à 3 degrés (Celsius) d'ici 2050.

[3] Selon le rapport IPCC (2007), le coût économique de la vague de chaleur de 2003 est estimé à 13 milliards d'euros pour l'Europe. L'agriculture a largement été affectée avec des pertes de rendement en maïs de 36% en Italie et de 30% en France. 650,000 hectares de forêt ont brûlé au cours de cette année, le Portugal ayant perdu 5% de la surface en forêt (coût estimé supérieur à 1 milliard d'euros).

- Les politiques publiques (PAC, lutte contre l'effet de serre) auront des impacts en termes d'occupation des sols (agriculture, forêt, villes) et de pratiques agricoles.

- Les préoccupations environnementales et leur transcription dans les textes réglementaires européens prennent une place de plus en plus importante en France. Par exemple, l'atteinte du *bon état écologique*, tel que défini par la DCE, sur la plus grande partie des masses d'eau du territoire français va supposer, en particulier pour les eaux superficielles, le maintien de débits de transport et de dilution suffisants des pollutions à la mer. Il en résultera des contraintes de prélèvement plus importantes pour l'ensemble des usagers.

- Les changements énergétiques (diminution des énergies fossiles, place à venir des énergies renouvelables telles que les biocarburants, l'hydroélectricité[4], le nucléaire) vont se traduire par des changements structurels à l'échelle du territoire.

Ces changements globaux ont un impact non seulement sur les ressources disponibles en eau mais ils affectent également directement l'agriculture. Par exemple, Amigues et al. (2006) ont montré que, compte tenu de l'élasticité du revenu agricole à la consommation d'énergie, de lubrifiants et d'engrais, et de ces consommations au prix du pétrole, une hausse du prix du pétrole brut peut avoir des conséquences non négligeables sur le revenu agricole.

Les enjeux scientifiques

Prise en compte de l'échelle « territoire »

Il convient tout d'abord de relever l'importance qu'a acquise le bassin versant ou, de manière plus générale, le territoire pour la gestion durable de la ressource en eau, comme cela a été récemment souligné par les autorités publiques. Par exemple, la mise en œuvre conjointe en France de la DCE, de « l'acte II » de la Décentralisation et de la Charte de l'environnement renforce considérablement une tendance déjà ancienne à la territorialisation de la politique de l'eau. Le territoire acquiert un nouveau statut, celui de concept opératoire aussi bien dans le domaine de l'aménagement du territoire que dans celui de la gestion de l'eau.

Une gestion efficace de la ressource en eau à l'échelle du territoire nécessite alors la mise en adéquation des différents usages au système d'offre en eau. En matière d'analyse de l'offre, les économistes ont souvent limité leur questionnement à l'étude des coûts de mise à disposition de cette ressource, notamment ceux des services d'eau. Il s'agit d'une étape nécessaire à la compréhension du fonctionnement du système mais insuffisante dans une optique de gestion de la ressource dans laquelle les interactions exercées par différents services d'eau via le système hydrographique doivent être prises en compte. En matière d'usage de l'eau, la plupart des recherches conduites à l'INRA concernent, et c'est bien naturel, l'agriculture. En excluant *de facto* toute possibilité d'arbitrage entre usages, les modèles qui ne représentent que l'usage agricole sur un territoire ne peuvent pas être utilisés dans une optique de gestion durable de la ressource en eau. Rosegrant et al. (2000) relèvent le besoin d'approches intégrées permettant d'éviter le problème de l'absence de coordination des politiques sectorielles de l'eau.

[4] Les opérateurs de barrages doivent de plus en plus contracter, avec des autorités publiques, des niveaux de lâchers d'eau en période d'étiage qui ont pour l'opérateur une faible valeur hydro-électrique mais qui ont pour les autorités publiques une valeur sociale élevée. Cela soulève des questions sur les modalités du partage du risque et de la tarification.

L'échelle du territoire est cependant difficile à appréhender car c'est à ce niveau que s'articulent des objectifs de gestion à court terme de la ressource en eau (maintien des débits d'étiage dans les rivières, priorité donnée à certains types d'usage) et des objectifs de planification à plus long terme (développement de nouvelles ressources en eau, modification des comportements individuels, etc.). De plus, le territoire se trouve à l'intersection de plusieurs politiques publiques (aménagement du territoire, protection de l'environnement, développement économique, etc.) qui peuvent avoir chacune leur propre rationalité. Les politiques publiques de l'eau se situent en effet au carrefour des politiques publiques de santé, de l'environnement, de l'aménagement du territoire, de l'agriculture, de l'industrie, et de l'énergie pour l'essentiel. Il est donc difficilement concevable de définir une politique de l'eau dénuée d'articulation organisée avec ces autres enjeux de politique publique. Toutes ces complexités nécessitent de développer de nouveaux outils de modélisation.

Production d'outils intégrés

Les schémas de partage de la ressource en eau sur un territoire ne pourront émerger que d'une confrontation de l'ensemble des usages au système d'offre en eau, cette confrontation pouvant elle-même engendrer des modifications des usages. Un moyen de réfléchir et d'organiser cette gestion efficace de la ressource en eau sur un territoire est de développer des *modèles de gestion intégrée de la ressource en eau* à l'échelle du bassin versant, modèles multi-usages et multi-sources[5]. Disposer d'outils permettant d'organiser cette mise en adéquation des usages sur un territoire donné est à la fois un enjeu prioritaire pour la puissance publique et une question de recherche importante. Si des travaux scientifiques ont d'ores et déjà été menés sur les différents usages de l'eau comme sur la question de la mise à disposition de la ressource (côté offre), les modèles intégrés de gestion de l'eau sont encore rares, en particulier en France. Le développement d'une approche intégrée multi-usages de la gestion de l'eau sur un territoire constitue donc un enjeu scientifique important[6].

Production d'outils pour les gestionnaires

Répondre aux attentes des gestionnaires et des responsables de la politique de l'eau dans le contexte de la mise en place de la DCE passe par la construction d'un savoir-faire adapté en matière d'analyses socio-économiques. Ces besoins de savoir-faire s'étendent de la conception de méthodologies adaptées à la mise à disposition des gestionnaires d'outils d'appui opérationnels tant pour leurs décisions que pour l'organisation de la concertation avec l'ensemble des utilisateurs de la ressource. Ils passent aussi par l'analyse de dispositifs d'acteurs.

2. Des recherches pour répondre à ces enjeux

Ces enjeux nécessitent de développer des outils de modélisation à des échelles plus importantes que celle de la plante ou même de la culture. Dans ce qui suit, nous détaillons d'abord quelques travaux qui

[5] Voir Cai (2008) pour une revue récente de la littérature sur les modèles de gestion de la ressource en eau à l'échelle du grand bassin de rivière.

[6] Les rapports «Sécheresse et agriculture» de l'INRA (Amigues et al., 2006) et « L'eau : enjeux et perspectives de recherche » de la MSTP – DGER (Cognet et al., 2007) ont mis en évidence des besoins de recherche, de développement et de coordination des compétences sur la thématique de la gestion quantitative de l'eau.

ont cherché à mesurer les capacités d'adaptation à la sécheresse au niveau de l'exploitation agricole. Nous présentons ensuite quelques recherches à des échelles territoriales plus vastes.

2.1 Des outils microéconomiques à l'échelle de l'exploitation

Au cours de l'expertise scientifique collective sur les relations entre sécheresse et agriculture, pilotée par l'INRA en 2006, les chercheurs ont pointé du doigt l'absence de données quantifiées sur l'impact économique d'une sécheresse en France. En réponse, des économistes de l'INRA ont élaboré un couplage original entre le modèle agronomique STICS développé par l'INRA et un modèle de calcul économique[7]. Cette étude a eu pour but d'estimer le coût des épisodes de sécheresse pour un agriculteur représentatif de la région Midi-Pyrénées et de déterminer si ses décisions de court ou de long terme permettent d'atténuer de manière significative ce coût.

Ce travail de modélisation est complexe en raison de la dynamique en jeu entre les données climatiques, les productions agricoles et les décisions des agriculteurs. Ainsi, dans ce modèle qui prend en compte l'histoire climatique de 1972 à 2005, dont cinq années de sécheresse, le nombre de systèmes de culture utilisés par un même agriculteur est limité à trois représentatifs :

-système A : monoculture de maïs (très consommatrice en eau) ;

-système B : rotation entre blé dur et sorgho (moyennement consommatrice en eau) ;

-système C : rotation entre blé dur et tournesol (très peu consommatrice en eau).

Pour limiter l'impact économique d'une sécheresse, l'agriculteur ne peut modifier à court terme, c'est-à-dire à l'échelle intra-annuelle où les assolements sont déjà déterminés, que des tactiques d'irrigation (combinaisons possibles entre des choix de dates d'irrigation et des quantités d'eau à apporter) associée à un système de culture. A long terme, la réponse de l'agriculteur consiste, en outre, à déterminer quelle proportion de sa surface agricole utile doit être allouée à chacun des trois systèmes de culture de manière à maximiser son profit par hectare.

Une mesure des capacités d'adaptation de l'agriculteur face au risque de sécheresse

Le couplage du modèle économique de décision de l'agriculteur avec le modèle de culture STICS a permis d'abord de mesurer les capacités d'adaptation de l'agriculteur représentatif en Midi-Pyrénées face au risque de sécheresse.

A court terme, c'est-à-dire à système de culture donné, le coût économique induit par les épisodes de sécheresse peut être élevé pour l'agriculteur. Par exemple, si le risque d'avoir une année sèche est multiplié par deux (10 années de sécheresse sur 33 au lieu de 5 initialement), cela se traduit pour l'agriculteur par une perte de 12 % de son profit.

A long terme, les choix optimaux d'assolement varient de manière très significative avec l'augmentation de l'intensité des sécheresses (Figure 2).

[7] Cette étude est référencée en annexe du rapport final de l'expertise « Sécheresse et Agriculture ». Voir également Reynaud (2006) pour une version plus récente de ce travail.

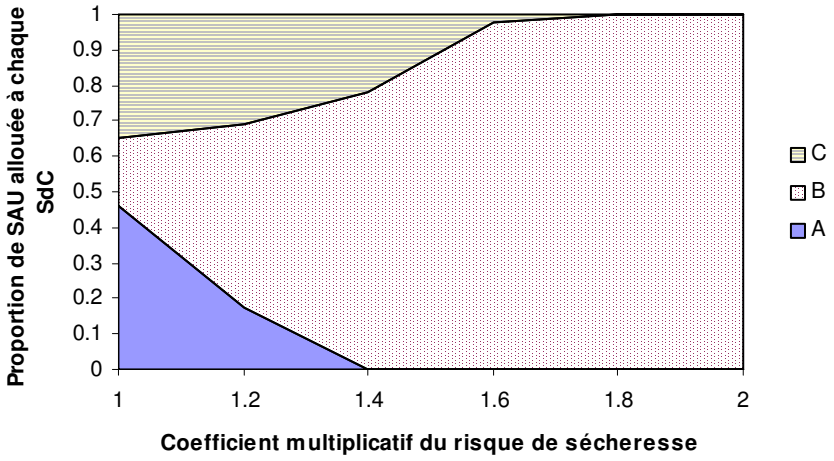


Figure 2 : Impact d'une augmentation de la fréquence des années de sécheresse sur l'allocation optimale de la SAU aux systèmes de culture (SdC) (choix de long terme)

Alors qu'on s'attend à ce que le choix du système le moins consommateur d'eau l'emporte quand le risque de sécheresse est le plus élevé, c'est le système intermédiaire qui est retenu. Ce résultat ne peut être analysé qu'au regard des attitudes manifestées à l'égard du risque par les agriculteurs. Dans un univers climatique incertain, un agriculteur présentant de l'aversion pour le risque ne cherche pas à maximiser son profit moyen mais une position médiane jugée plus confortable. Pour ne pas voir son gain trop diminuer quand le risque climatique se réalise, l'agriculteur est prêt à opter pour des systèmes de culture qui ne fournissent pas le profit le plus élevé en année climatique «normale». Ici, le système intermédiaire *blé dur/sorgho* qu'il retient dans le cas d'un risque de sécheresse très élevé présente des coûts de production faibles, ainsi que des rendements relativement faibles. A l'inverse, il est clair qu'un agriculteur qui ne présente pas d'aversion pour le risque acceptera des gains importants en cas de non sécheresse mais aussi des pertes importantes en cas de sécheresse.

Une mesure de l'impact des politiques publiques de gestion de crise sur l'exploitation agricole

Une des caractéristiques des années récentes de sécheresse a été la mise en place de limitations quantitatives des prélèvements en eau à usage agricole (via des arrêtés préfectoraux notamment). On peut donc anticiper que les phénomènes de sécheresse seront de plus en plus accompagnés par ces mesures, souvent administratives, de restriction des prélèvements agricoles en eau. Il est donc important pour la puissance publique d'évaluer les coûts (en termes de perte de fonction d'objectif de l'agriculteur) induits par ce type de restriction quantitative.

On sait que l'impact du risque de sécheresse sur la fonction d'objectif de l'agriculteur dépend de manière cruciale des possibilités qu'il a d'anticiper, ou non, les éventuelles limitations ou interdictions d'irriguer dans le cas d'un épisode de sécheresse avéré. Le modèle économique permet de déterminer le coût des sécheresses pour l'agriculteur en fonction de la date à partir de laquelle il sait que l'irrigation en période d'étiage sera rationnée ou interdite (une date plus précoce donne à l'agriculteur plus de flexibilité pour modifier ses pratiques). Cela permet à la puissance publique de mesurer les gains privés qui peuvent être associés à la mise en place de systèmes d'alerte précoce des sécheresses.

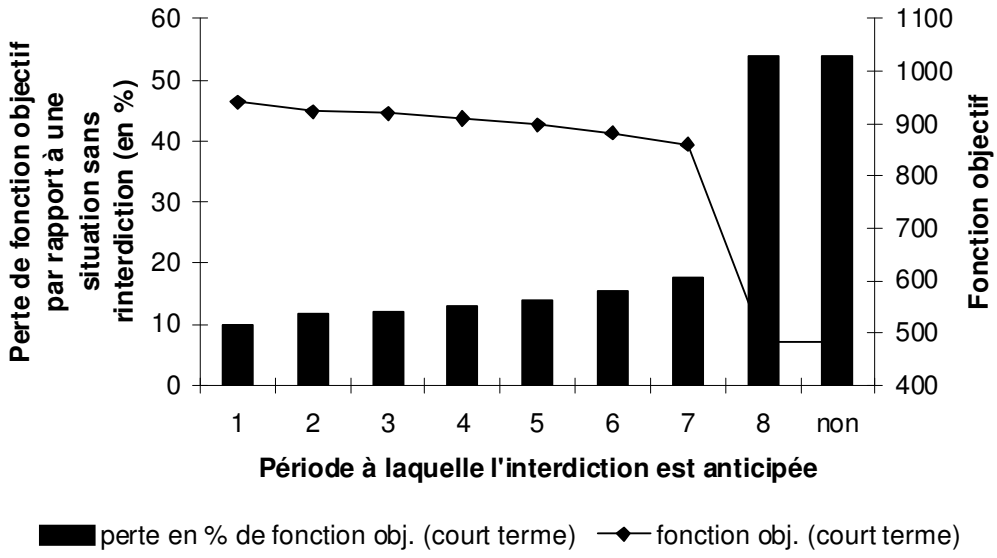


Figure 3 : Impact des interdictions d'irriguer sur la fonction objectif de l'agriculteur représentatif de Midi-Pyrénées (choix de court terme) en fonction de la période à laquelle l'interdiction est connue. Les périodes correspondent à des décades à partir du 1er juin.

Reynaud (2006) montre tout d'abord que la perte pour l'agriculteur en termes de fonction d'objectif d'une interdiction d'irriguer non anticipée est très importante à court terme. Lorsque l'agriculteur ne peut pas anticiper les interdictions d'irrigation en période d'étiage lors des années sèches, la perte peut atteindre 54 % de son profit. Il apparaît donc important que les pouvoirs publics mettent en place des mécanismes d'alerte précoce des sécheresses. Ensuite, toujours à court terme, une information sur le risque d'interdiction d'irriguer en période d'étiage transmise de manière précoce aux agriculteurs permet de limiter de manière significative la perte de fonction d'objectif (Figure 3). Par contre, les décisions de long terme de l'agriculteur (réallocation des surfaces entre les trois systèmes de culture) permettent d'atténuer de manière très importante le coût des restrictions d'irrigation en période d'étiage : la perte résultant des interdictions d'irriguer est modérée quel que soit leur degré d'anticipation.

En termes de recommandation de politique économique, ces résultats suggèrent qu'il est important pour le décideur public de faciliter les changements de système de culture, via la mise en place de mécanismes incitatifs, d'aide technique, de transmission d'information, par exemple. Ces résultats suggèrent également que des mécanismes d'alerte précoce des sécheresses peuvent générer des gains substantiels pour l'agriculture.

2.2 Des outils à l'échelle territoriale

A l'échelle d'un territoire, la diversité des activités présentes génère une diversité d'usages de la ressource en eau. Gérer la ressource en eau nécessite dans ce cas que l'on dispose de modèles pour procéder aux arbitrages que l'on juge soit efficaces, ce qui conduit à affecter la ressource à ceux qui la valorisent le plus, soit équitables, ce qui conduit à en garantir l'accès à tous avec un coût raisonnable.

Les préalables d'une gestion efficace, à l'échelle du territoire, de la ressource en eau sont clairs. L'offre disponible doit être identifiée, dans le temps et dans l'espace, tout comme les fonctions de demande de chacun des usagers potentiels. Les caractéristiques des réseaux hydrographiques souterrains et de surface ainsi que les interactions que ces deux systèmes entretiennent doivent être connues de manière à quantifier la ressource disponible et son coût de mise à disposition. La connaissance des

fonctions de demande des usagers constitue ensuite le deuxième préalable à une gestion raisonnée de la ressource. Dès lors que la ressource est limitante ou aléatoire, la question du partage de l'eau entre différents usages se pose, tant pour le gestionnaire chargé de délivrer l'eau aux usagers en temps et lieux utiles au cours d'une année, que pour les gestionnaires chargés de planifier à plus long terme l'eau et les usages de l'eau. Les activités de recherche de l'INRA concernent ces deux pas de temps.

A court et moyen terme : contribution à la gestion stratégique de l'eau

La gestion stratégique de l'eau, telle que définie par Trouvat (1997), concerne les décisions saisonnières avec ajustement possible en cours de saison. Il s'agit typiquement, pour un gestionnaire comme la Compagnie d'Aménagement des Coteaux de Gascogne (CACG), de déterminer les quotas d'eau affectés à l'irrigation en début de saison, cette décision étant contrôlée, et si besoin réajustée, une fois par semaine tout au long de la saison d'irrigation. Ce contrôle hebdomadaire vise à vérifier si les conditions de quotas d'eau accordés à l'usage agricole sont compatibles avec les autres usages de l'eau sur le bassin, et vont le rester pour le reste de la campagne d'irrigation. Cette décision participe donc au processus de partage de la ressource entre les différents usages de l'eau présents.

Le modèle ADEAUMIS, développé conjointement par l'INRA, la CACG et d'autres partenaires[8], est désormais un élément du système décisionnel mis en œuvre chaque année depuis 2003 par la CACG pour sa gestion stratégique. Il permet d'estimer, sur l'ensemble d'un périmètre irrigué, quelle a été la demande en eau d'irrigation jusqu'au jour du contrôle hebdomadaire et, par utilisation de scénarios climatiques, de faire des projections sur la demande en eau d'irrigation à venir. L'apport majeur de l'INRA a consisté à proposer l'intégration, dans le processus d'estimation de la demande en eau d'irrigation, de modèles agronomiques permettant de mieux prendre en compte la réalité des pratiques culturales et leur diversité à l'échelle du périmètre irrigué (cf. encart Leenhardt et Trouvat, 2004). Cette modélisation des pratiques agricoles et de leur diversité n'est en fait qu'un moyen indirect d'accéder à l'information nécessaire au gestionnaire. Un moyen beaucoup plus direct serait que le gestionnaire demande directement cette information aux irrigants et l'agrège pour prendre ses décisions de gestion de la ressource. Une étude[9] combinant agronomie, ergonomie et ethnologie est actuellement en cours pour comprendre pourquoi ce moyen direct d'accès à l'information n'est pas actuellement mobilisé par le gestionnaire. Partant de l'hypothèse que la connaissance de l'état des ressources en eau est un élément stratégique et tactique pour les agriculteurs[10], cette étude a pour objectif d'analyser si, et comment, un outil de partage des connaissances pourrait être mis en place entre le gestionnaire de la ressource en eau et les irrigants utilisant cette même ressource.

[8] Le modèle ADEAUMIS a été développé par 4 partenaires : INRA, CACG, Météo-France et SCOT (dépôt à l'APP en 2004). Sa mise en œuvre opérationnelle a bénéficié des contributions supplémentaires d'ARVALIS Institut du végétal et d'INFOTERRA (anciennement ASTRIUM) lors de projets successifs.

[9] Projet INFOAGRI, Lot 250 « interface usagers-gestionnaires » : projet financé par MINEFI et MAP dans le cadre du Pôle de compétitivité « aéronautique, espace et systèmes embarqués ».

[10] La connaissance par les agriculteurs de l'état de la ressource en eau intervient comme élément de choix de leur assolement et de leur stratégie d'irrigation, et, en cours de campagne d'irrigation, elle peut les amener à réviser leurs choix stratégiques par modification des doses et fréquences d'arrosage

A plus long terme : recherche et développement d'outils de planification et de gestion de la ressource

La planification, toujours selon (Trouvat 1997), concerne les décisions prises à l'échelle pluriannuelle et qui impactent sur l'offre et la demande en eau. Il s'agit par exemple de décisions relatives à la création de ressources (construction de barrages), à des choix de tarification ou de toute autre mesure incitative ou réglementaire qui peuvent orienter la demande.

L'outil principal de la planification est la politique publique (PP) qui définit les mesures à appliquer pour atteindre l'objectif souhaité. Les gestionnaires concernés par la planification cherchent (a) à construire des PP adaptées à leur territoire et (b) à évaluer l'impact des PP imposées (PAC par ex.) sur leur territoire en général, et leurs ressources en eau en particulier.

Le processus de construction de PP est itératif et intègre des phases d'évaluation des PP candidates. Un même outil peut donc être utile aux deux cas précédents (a et b). La construction de PP spécifiques à un territoire ou à une situation donnée (vs. PP imposée) concerne par exemple les gestionnaires administratifs qui doivent évaluer la pertinence de la création de nouvelles ressources (construction de barrage par exemple) ou mettre en place des systèmes de tarification favorables à une utilisation optimale des ressources et à la santé économique et sociale de leur territoire, mais aussi des gestionnaires prestataires de service qui cherchent à construire puis évaluer un système efficace pour partager l'eau entre usagers au cours de la campagne (par exemple, évaluer la pertinence d'un système basé sur l'attribution de quotas d'eau avec liste d'attente, etc.). De plus en plus, les décisions relatives à la planification de l'eau et/ou des territoires sont l'aboutissement de processus intégrant la consultation du public, la mobilisation d'instances de concertation, etc. qui mobilisent un grand nombre d'acteurs (qui sont autant de porteurs d'enjeux et représentent toute la gamme des usages de l'eau). Les outils et méthodes à développer pour assister la planification conjointe des ressources en eau et du territoire[11] doivent permettre de répondre aux préoccupations de tous ces acteurs et permettre une évaluation multicritère des PP envisagées ou imposées. Dans ce paragraphe, nous présentons trois chantiers menés par l'INRA dans le cadre du projet APPEAU[12].

Développement d'un outil régional de construction et d'évaluation de PP sur un périmètre irrigué : le modèle MOGIRE[13]

MOGIRE est un modèle générique de gestion intégrée de la ressource eau à l'échelle du grand[14] bassin de rivière permettant d'optimiser l'allocation de l'eau entre différents usages concurrentiels mais aussi de simuler des scénarios et d'analyser leur impact (analyse de politiques publiques).

Le modèle de gestion intégrée représente la quantité d'eau demandée par les différents usages (alimentation en eau potable, industrie, agriculture, environnement) et le profit généré par chacun de

[11] Par définition, la gestion spatiale de l'eau considère conjointement la ressource en eau et le territoire impacté par et impactant cette ressource.

[12] Projet financé par l'ANR dans le cadre du programme « Agriculture et développement Durable ».

[13] Voir Reynaud et Leenhardt (2008) pour une présentation de MOGIRE.

[14] C'est à-dire un bassin de rivière d'une taille telle qu'il existe une forte variabilité spatiale en termes agro-pédo-climatiques laquelle génère des demandes en eau diversifiées d'un point à l'autre du bassin.

ces usages. Un modèle hydraulique arc-nœud permet de quantifier l'offre en eau en tous points du système considéré et au pas de temps choisi (Figure 4).

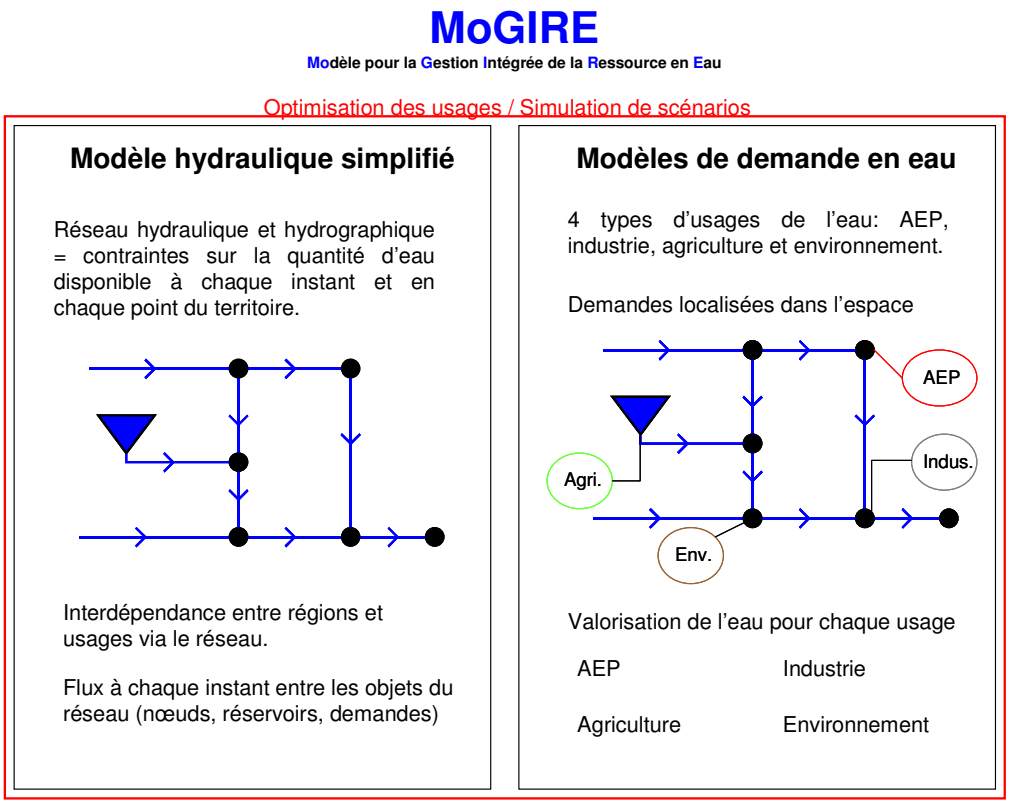


Figure 4 : Architecture générale du modèle MOGIRE

Des modèles de demande, discrétisés sur le même pas de temps, sont développés pour chaque usage. Les usages non-agricoles (alimentation en eau potable (AEP) et industrie) sont modélisés via des approches économétriques. L'usage environnemental est représenté par l'introduction de contraintes de débits en certains points du système : les « débits objectifs d'étiage (DOE) » à respecter sur chaque rivière. En ce qui concerne l'usage agricole, on passe par une approche mécaniste : un modèle biophysique permet de simuler le processus de croissance des cultures pour différents itinéraires techniques, notamment différents vecteurs d'apports en eau tout au long de la campagne d'irrigation, ce qui permet de générer une fonction de production qui est alors utilisée par le modèle économique pour modéliser les choix de systèmes de cultures et d'itinéraires techniques par les agriculteurs, choix qui conditionnent ensuite les demandes en eau.

MOGIRE est actuellement en cours de développement. Il permettra à terme de :

- caractériser l'allocation optimale de l'eau au sein du système considéré et entre usages en conditions de changements de contexte économique, climatique, agronomique ou réglementaire ;

- définir et tester des politiques publiques de gestion de la ressource en eau à l'échelle du territoire. Il s'agit en fait de proposer des instruments économiques de régulation des demandes permettant d'atteindre (ou tout au moins de se rapprocher) de l'allocation optimale. Ces instruments incluent le recours potentiel à des outils réglementaires (par exemple, des quotas d'eau d'irrigation ou la mise en place d'un marché de droits d'irrigation) ou/et tarifaires (augmentation du prix de l'eau).

Ce modèle est en cours d'application au système Neste, vaste réseau hydraulique du sud-ouest de la France (15 000 km²) constitué par l'ensemble des rivières de Gascogne réalimentées par le canal de la Neste.

Conception et test d'un système de tarification durable de l'eau dans MOGIRE

L'action publique, lorsqu'elle vise à organiser au mieux l'utilisation de la ressource en eau dans des contextes de rareté, peut être envisagée selon trois directions :

- l'augmentation de la ressource, ajustant l'offre à la demande,

- l'économie d'eau, ajustant la demande à l'offre,

- l'action compensatoire *a posteriori* via l'assurance publique ou privée.

Les deux premières ne sont pas mutuellement exclusives et peuvent être complémentaires. La construction de priorités entre elles ne peut s'envisager qu'à l'échelle territoriale par un croisement des caractéristiques du milieu et des spécificités territoriales et économiques de l'activité agricole.

Les politiques publiques peuvent également s'appréhender en fonction de leur horizon temporel. A court terme, il n'existe que deux façons de résoudre les conflits d'usage créés par la rareté de la ressource en eau; c'est-à-dire qu'il n'existe que deux façons de mettre en adéquation les demandes, expressions des besoins, avec l'offre, expression des disponibilités : *faire payer* et *rationner*. Si la mise en place de systèmes de taxation conduit, *in fine*, à rationner les usagers, il est cependant clair que les effets de redistribution de ces deux approches sont différents. Chaque méthode admet des variantes plus ou moins sophistiquées. Les tarifs peuvent être modulés selon divers paramètres : tarification par type d'usager et tarification de pointe, tout comme les méthodes de rationnement, avec interdiction de certains usages et limitation des prélèvements à certains moments. D'autre part, le recours à l'un des modes n'exclut pas nécessairement l'utilisation de l'autre. Un exemple fréquent de combinaison des deux modes de répartition de la ressource entre ses différents usagers potentiels consiste à faire payer en temps dit '*normal'* et à rationner dans certaines situations qualifiées d'*exceptionnelles.* A long terme, la demande et l'offre peuvent être significativement modifiées, de sorte que les conditions de leur mise en adéquation, au jour le jour, seront elles aussi transformées. Les différents utilisateurs peuvent changer leurs équipements, adopter des pratiques plus économes de la ressource, et, pour les producteurs, agriculteurs, industriels et fournisseurs de services, modifier leurs processus de production. L'offre peut être augmentée en investissant dans des équipements plus performants qui réduisent les pertes de distribution dans les réseaux ou en mettant en exploitation d'autres approvisionnements généralement plus coûteux.

Dans le cadre du projet APPEAU, un travail est en cours sur le développement de nouvelles méthodes de tarification adaptative de l'eau à usage agricole.[15] Dans cette étude, les auteurs montrent qu'il est possible de concevoir des systèmes de tarification qui permettent d'anticiper les conflits d'usage en cas de ressource rare tout en assurant un équilibre budgétaire du service de l'eau et une valorisation agricole de l'eau efficace.

[15] Voir Terraux et Tidball (2008).

Naturellement, l'évaluation (à la fois ex-ante et ex-post) de ces politiques publiques nécessite des approches multicritères qui, outre des considérations économiques, incluent des aspects sociaux et environnementaux. Cette évaluation passe par des outils originaux de modélisation à l'échelle du territoire.

Développement d'une méthode de traduction de discours d'acteurs sur les systèmes de culture d'un territoire pour en évaluer l'impact sur les ressources en eau

Par la surface qu'elle occupe et son impact économique et environnemental sur le territoire, l'agriculture concerne de nombreux acteurs porteurs d'enjeux variés. Lors des consultations du public sur l'eau (instances de concertation, débats publics, etc.), ces acteurs peuvent avoir l'occasion de proposer leur vision de l'aménagement du territoire, notamment en termes de changement sur la distribution des systèmes de culture, pour répondre aux enjeux qui se posent sur l'eau. Cela a par exemple été le cas lors du débat public sur la construction du barrage de Charlas où tout un collectif d'acteurs a proposé de réduire les surfaces de maïs irrigué pour résoudre les problèmes de débit de la Garonne en période d'étiage et éviter la construction du barrage. Ces propositions d'acteurs peuvent être des options à prendre en considération dans les activités de planification des ressources en eau et des activités du territoire. Cependant, une difficulté réside dans le fait que ces propositions sont le plus souvent exprimées sous forme d'un discours très qualitatif. Or, les modèles qui pourraient permettre d'évaluer ces discours (en calculant un panel d'indicateurs pertinents pour juger de leur impact sur l'eau, mais aussi de leur impact économique et social) nécessitent des données quantitatives et des localisations spatiales relativement précises.

Un travail de recherche en cours (thèse de L. Clavel[16]) vise donc à développer une méthode qui permette à un gestionnaire (par exemple l'Agence de l'Eau) de traduire un discours portant sur la distribution des systèmes de culture d'un territoire en données d'entrée d'un modèle de simulation. Le défi à relever est que cette méthode soit adaptée pour traduire un maximum de discours émanant de l'ensemble des acteurs susceptibles d'être concernés par les relations entre activité agricole et ressource en eau.

Le cas d'étude correspond à la combinaison d'un territoire (système Neste) avec un enjeu sur l'eau (pénurie de la ressource en période d'étiage, due en partie à une irrigation importante) et d'un choix d'indicateurs d'évaluation simulables par modèle. Nous avons retenu (*a priori* et dans un premier temps) deux types d'indicateurs, la demande en eau d'irrigation et le rendement économique des cultures, qui sont calculables par le modèle bio-décisionnel MOuSTICS[17] si on applique celui-ci sur l'ensemble du territoire d'étude. Une division élémentaire du territoire et une approche matricielle ont été retenues pour traduire le discours et appliquer MOuSTICS sur l'ensemble du territoire.

L'unité élémentaire de division du territoire a été choisie de manière à avoir un sens non seulement du point de vue de la gestion de l'eau, mais également du point de vue de la gestion du territoire. Il s'agissait en effet d'avoir une division du territoire adaptée aux enjeux des différents acteurs concernés.

[16] Bourse cofinancée INRA – Conseil Régional Midi-Pyrénées

[17] MOuSTICS correspond au couplage du modèle multi-cultures STICS (Brisson et al. 2003) avec la partie décisionnelle de MODERATO ((Bergez et al. 2001) - cf. exposé de Bergez et Lacroix)

Les variables d'entrée de MOuSTICS permettent de spécifier la culture et son itinéraire technique, le type de sol et ses propriétés et les séries climatiques à utiliser pour les simulations en un site donné. Compte tenu de la taille de ces unités élémentaires et de la nature des sources d'information utilisées pour déterminer les données d'entrée de MOuSTICS, chaque unité élémentaire est caractérisée par une distribution de modalités de variables d'entrée. MOuSTICS doit donc être lancé sur chaque unité élémentaire autant de fois qu'il y a de combinaisons. Sur chaque unité élémentaire, une matrice permet de spécifier la part de l'unité correspondant à une combinaison donnée. Modifier les valeurs des cellules des matrices revient à modifier les caractéristiques agro-pédo-climatiques du territoire d'étude. Les discours des acteurs qui nous intéressent (portant sur la distribution spatiale des systèmes de culture) visent à modifier les caractéristiques du territoire. Pour pouvoir transformer ces discours en cartographie de données d'entrée de MOuSTICS, nous voulons donc explicitement intégrer comme axes des matrices les facteurs pouvant être mobilisés par les acteurs pour modifier la localisation ou l'extension de tel ou tel système de culture. En plus des variables d'entrée du modèle (culture, sol et climat), nous n'avons, à ce stade, considéré comme facteur et intégré aux matrices que le type d'exploitation. Ces facteurs permettent la traduction de scénarios « tests ». La mise à l'épreuve de cette méthode à différents discours, de complexité et d'origine variées, devrait permettre, par la suite, l'identification de nouveaux facteurs. Selon la nature de ceux-ci, les choix faits, relatifs à la division du territoire ou à la nature des axes des matrices, pourraient être remis en cause ou confortés. La méthode ainsi consolidée devrait pouvoir à terme être directement utilisable par un gestionnaire. Pour faciliter la conception puis le transfert de la méthode, ce travail est suivi par l'Agence de l'eau Adour-Garonne.

3. Conclusion : un changement d'échelle générateur d'interdisciplinarité

Les enjeux socio-économiques actuels, fortement liés aux changements globaux multiples - environnementaux, sociaux, économiques et politiques - nécessitent de considérer l'agriculteur (et l'agriculture) :

- comme une cible de ces changements complexes, et c'est à ce titre que nous avons développé les travaux de recherche permettant d'analyser la réaction des exploitations au niveau micro-économique ;

- comme un usager de la ressource en eau et un acteur économique parmi d'autres au sein des territoires, et c'est à ce titre que l'INRA développe de plus en plus de travaux à ces échelles territoriales.

Pour l'agronomie, dont le domaine d'étude et d'observation a longtemps été limité à la parcelle agricole, s'intéresser aux territoires que sont le bassin versant, le bassin de collecte, ou la région administrative, procède d'un véritable changement d'échelle. De même, pour l'économie, habituée aux approches micro-économiques (à l'échelle de l'exploitation) ou aux approches macro-économiques (à l'échelle d'un pays par exemple), s'intéresser aux échelles intermédiaires est une véritable révolution.

Ce changement d'échelle, somme toute récent à l'INRA, n'est pas une simple possibilité offerte au chercheur mais une réelle nécessité imposée par la réalité des changements globaux et par la demande de la société d'en évaluer les conséquences et de proposer des réponses adaptées dans une perspective de développement durable. Il est générateur de pluridisciplinarité (différentes disciplines sont concernées), d'interdisciplinarité (les disciplines sont désormais amenées à travailler ensemble) et même de transdisciplinarité (la recherche doit travailler avec les partenaires du monde socio-économique pour apporter des réponses adaptées). En effet, l'appréhension d'entités spatiales plus étendues amène à considérer des activités sociales et économiques plus nombreuses, en interaction entre elles et avec des processus biophysiques, et la préoccupation de développement durable incite à ne pas négliger ces interactions. Il est donc nécessaire que les disciplines dialoguent, ce qui suppose de surmonter des différences de langages et de concepts, ce qui peut être parfois très long. Pour que les interactions évoquées puissent être prises en compte, il faut qu'il y ait une réelle mise en commun (intégration) des connaissances relatives à ces activités et processus. Or, si certaines disciplines ont une approche quantitative qui conduit à une modélisation mathématique qui facilite l'intégration,

d'autres disciplines ont une approche beaucoup plus qualitative et descriptive des processus en jeu. Si la complémentarité entre ces deux types d'approche n'est pas à démontrer (de nombreux travaux en attestent[18]), l'intégration de connaissances qualitatives dans des modèles mathématiques reste un véritable défi à relever.

[18] Cf. dans cet article les travaux réalisés dans le cadre du projet INFOAGRI entre agronomie, ergonomie et ethnologie.

Encart 1

La CACG est une Société d'Aménagement Régional avec comme mission principale la "maîtrise de l'eau dans la Région Midi-Pyrénées", impliquant la mobilisation des ressources en eau pour faire face aux besoins (irrigation, salubrité). Pratiquement, la CACG est gestionnaire du Système Neste, vaste réseau hydrographique (15 000 km²) regroupant 17 rivières réalimentées par des réservoirs et canaux, et répondant aux besoins en eau de 50 000 ha irrigués et 200 000 habitants environ. Prestataire de service, elle vend l'eau à ses clients (agriculteurs – individuels ou constitués en associations, industriels et collectivités locales) selon un contrat qui spécifie que le client s'engage à respecter un quota en volume et un débit souscrit et que la CACG s'engage à mettre l'eau à la disposition de ses clients en temps et lieux utiles. Contrairement à certaines situations (en Espagne par exemple) où le client passe commande de l'eau nécessaire 48h à l'avance, la CACG ne demande pas d'information supplémentaire à ses clients en dehors du débit souscrit. Aussi, une de ses tâches est de prévoir à quels moments et où auront lieu les prochains prélèvements d'eau des rivières.

La prise de décision des lâchers d'eau en cours de saison par le gestionnaire s'appuie sur un système très sophistiqué et instrumenté de suivi de débits des rivières et sur une estimation, jusqu'à peu très simplifiée, des prélèvements passés et futurs. A deux dates clé, mais également de manière hebdomadaire, le gestionnaire cherche ainsi à situer la campagne d'irrigation en cours par rapport à un standard, de manière à répondre aux questions suivantes: « Comment aborder la fin de la campagne ? Faut-il revoir les quotas ? Peut-on mettre plus d'eau dans les rivières pour soutenir les débits d'étiage ? ».

En 1998, la conjonction d'un tarissement précoce des rivières, d'un semis tardif des cultures et d'une période froide en juin a mis en défaillance ce système de gestion de la CACG. Ensemble, l'INRA et la CACG se sont posés la question suivante : « comment intégrer au mieux les informations et outils agronomiques disponibles pour améliorer le système de gestion de la CACG, tout en lui gardant son caractère opérationnel ? »

L'analyse du système de gestion nous a permis de préciser le cahier des charges du modèle ADEAUMIS visant à améliorer l'estimation de la demande en eau d'irrigation sur le Système Neste. Ainsi, pour mieux estimer les prélèvements passés, nous avons proposé d'utiliser l'information climatique la plus récente (remplacer l'utilisation de chroniques historiques par les données de l'année en cours), d'utiliser un modèle rendant compte de l'impact des spécificités climatiques de l'année en cours sur le développement des cultures et d'introduire des informations sur les pratiques réelles des irrigants dans le modèle (simuler les pratiques d'irrigation) ou en entrée du modèle (préciser les dates de semis de l'année en cours). Le modèle ADEAUMIS a été appliqué et validé sur les années 1998 et 2000. Au cours de l'été 2003, il a été testé en temps réel par le service de gestion stratégique de la CACG: avec les conditions atypiques de cette saison (printemps sec avec semis précoces, chaleur estivale précoce et caniculaire, sécheresse estivale). Il a ainsi mis en évidence ses capacités à prévoir l'avance du calendrier d'irrigation, les volumes prélevés et l'arrêt des irrigations. Dans ces conditions extrêmes il a également mis en évidence les limites du système de gestion antérieur basé sur des séries climatiques passées.

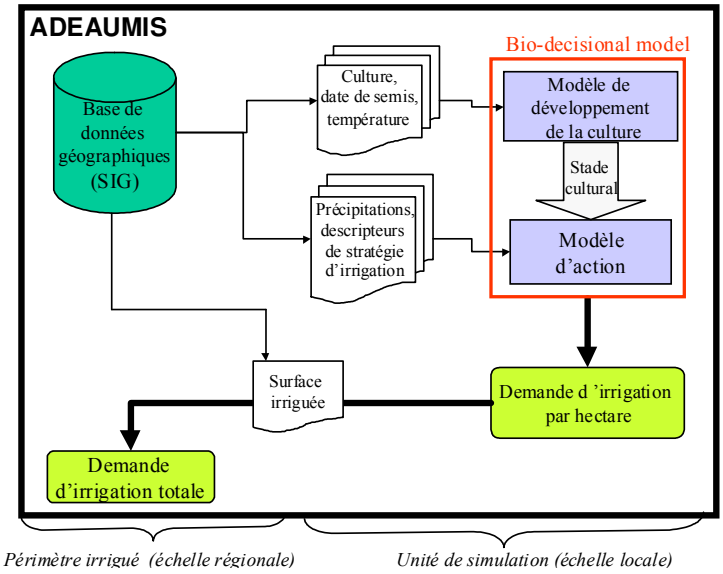


Figure 5 : ADEAUMIS est un outil d'estimation de la demande en eau régionale, basé sur un modèle bio décisionnel et une base de donnée géographique

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, Rapport, INRA (France), 380 p + annexes.

Bergez,J.-E., Debaeke P., Deumier J.-M., Lacroix B., Leenhardt D., Leroy P., Wallach D., 2001. MODERATO: an object-oriented decision tool for designing maize irrigation schedules. Ecological Modelling 137, 43-60.

Brisson N., Gary C., Justes E., Roche R., Mary B., Ripoche D., Zimmer D., Sierra J., Bertuzzi P., Burger P., Bussière F., Cabidoche Y.M., Cellier P., Debaeke P., Gaudillère J.P., Hénault C., Maraux F., Seguin B., Sinoquet H., 2003. An overview of the crop model STICS. European Journal of Agronomy 18, 309-332.

Cai X., 2008. Implementation of holistic water resources-economic optimization models for river basin management - reflective experiences. Environ. Model. Softw. 23, 2–18.

Cognet, G (éditeur), 2007. L'eau. Enjeux et perspectives de recherches. Rapport de la mission scientifique, technique et pédagogique du Ministère délégué à l'enseignement supérieur et à la recherche, 107 p.

IPCC, 2007. Summary for policymakers. Land use, land-use change, and forestry. A special report of the IPCC, International Panel on Climate Change.

Leenhardt D., Trouvat J.L., 2004. ADEAUMIS, un outil pour estimer la demande en eau d'irrigation à l'échelle régionale. Exemple d'utilisation en temps de crise. Ingénieries 40, 37-50.

Narcy J.B., Mermet L., 2003. Nouvelles justifications pour une gestion spatiale de l'eau: New justifications for a spatial management of water. Nature Sciences Sociétés 11, 135-145.

Reynaud A., 2006. Adaptation à court et à long terme de l'agriculture face au risque de sécheresse : Une approche par couplage de modèles biophysiques et économiques. En révision aux Cahiers d'Economie et de Sociologie Rurales.

Reynaud A., Leenhardt D., 2008. MoGIRE: A Model for Integrated Water Management. Article accepté pour présentation au congrès iEMSs 2008 (International Congress on Environmental Modelling and Software).

Rosegrant M.W., Ringler C., McKinney D.C., Cai X, Keller A., Donoso G., 2000. Integrated economic-hydrologic water modeling at the basin scale: the Maipo river basin. Agricultural Economics 24, 33-46.

Terraux J-P, Tidball M., 2008. Water sharing among competitive farmers in temperate climate: A study of different pricing mechanisms. Article accepté pour présentation lors du 13eme congrès mondial sur l'eau (IWRA 2008), Montpellier.

Trouvat J.L. 1997. Concepts de base de la gestion quantitative de la ressource en eau. In F.Lacroix, editor, Irrigation, outil de qualité et de régularité de la production agricole pour les marchés et les industries d'aval. La gestion de l'eau à l'échelle d'un bassin versant: l'exemple du Sud-Ouest AFEID-AGPM. Antony. (October 1997), pp 121-136.