

PROGRAMME DE RECHERCHE
« EAUX ET TERRITOIRES »

Rapport final de synthèse

10 septembre 2011

EAUSAGE-QUANT :
GESTION QUANTITATIVE DE LA RESSOURCE EN EAU A L'ECHELLE DU
TERRITOIRE

Arnaud Reynaud
TSE(LERNA-INRA)
21 allée de Brienne
31042 Toulouse Cedex
Tel : 05 61 12 85 12
Fax : 05 61 12 85 20
Mel : areynaud@toulouse.inra.fr

OBJECTIF ET DEMARCHE

Dans le projet EAUSAGE-QUANT, nous développons des outils permettant l'évaluation de scénarios en vue d'une « meilleure » planification conjointe des différentes activités (agricoles, industrielles, domestiques) et d'une « meilleure » utilisation des ressources en eau, à une grande échelle (région Midi-Pyrénées). En termes de politique publique, EAUSAGE-QUANT vise à améliorer les prises de décision collective pour la gestion de l'eau à l'échelle d'un grand territoire. Ce projet s'inscrit donc dans le cadre de la gestion spatiale de l'eau à grande échelle en mettant l'accent sur la composante agricole du territoire.

Questions de recherche.

- (1) Il s'agit d'abord de progresser sur la connaissance de chaque demande en eau notamment par une meilleure caractérisation de leurs déterminants socio-économiques. Cela passe par exemple pour l'usage agricole par le développement de couplages originaux entre des modèles biophysiques de croissance de plante et des modèles décisionnels ou économiques.
- (2) Il s'agit ensuite de progresser sur la connaissance de la valeur de l'eau pour chaque usage, autrement dit sur la mesure des surplus générés par le bien « eau » pour chaque type d'usager (valeur privée de la ressource par usage). La plupart des travaux sur les usages de l'eau se limitent à la caractérisation des déterminants des demandes. Pourtant, ce sont les surplus générés qui importent pour la puissance publique dans un contexte de répartition de la ressource en situation de rareté.
- (3) Il s'agit ensuite de montrer qu'il est possible de proposer et de tester sur les différents usages des scénarios pertinents d'évolution des contextes économiques, agronomiques, climatiques et de ressource en eau à l'échelle d'une région française. Le développement et la validation de ces scénarios constituent un objet de recherche en soi.
- (4) Il s'agit ensuite de caractériser la valeur sociale de la ressource en eau en montrant qu'elle résulte de la confrontation d'une offre globale de ressource et d'un ensemble de demandes sur un territoire donné. Les spécificités en termes d'offre ou bien de demandes conduiront vraisemblablement à une valeur sociale de l'eau très différente d'un point à un autre du territoire. Ce sont ces différences en termes de valeur sociale de l'eau qui doivent guider la puissance publique dans ses politiques de gestion de la ressource en eau. A notre connaissance, aucun travail français n'a réussi à mesurer cette valeur sociale de la ressource en eau sur une grande échelle.

Aspects innovants

Le premier aspect innovant de EAUSAGE-QUANT est son échelle : rarement des travaux sur la gestion de la ressource au niveau d'un territoire ont été menés à une échelle régionale. Cette échelle est pertinente en termes de définition de la ressource, en termes de mise en œuvre de politiques publiques, et en termes d'organisation du territoire. Le deuxième aspect innovant de ce projet est la prise en compte simultanée de plusieurs usages et la confrontation entre ces usages (la demande en eau) d'une part, et la quantité de ressource disponible (l'offre) à l'échelle du territoire d'autre part. Beaucoup de travaux existent sur chaque usage mais très peu d'entre eux analysent conjointement plusieurs usages sur un territoire donné.

LE DEROULEMENT DU PROJET

Les partenaires

Trois laboratoires partenaires ont été impliqués dans le projet EAUSAGE-QUANT : UMR LERNA (Université Toulouse 1 Capitole, CNRS et INRA), l'UMR AGIR (INRA et ENSAT) et l'UMR CESBIO (Université Paul Sabatier, CNRS, CNES et IRD). L'Agence de l'Eau Adour-Garonne a été associée comme partenaire extérieur de ce projet.

Difficultés rencontrées

La mise au point des modèles d'usage de l'eau (agriculture, AEP) a en fait pris beaucoup plus de temps que prévu (acquisition des données, estimations économétriques, etc.). Les 15 mois de CDD financés par le programme « Eaux et Territoires » n'ont pas permis de mener à bien les estimations des différentes fonctions de demandes. Le programme de travail proposé au post-doctorant était peut-être trop ambitieux. Cela nous a obligé à décaler le volet 2 (évaluation des scénarios) et le volet 3 (analyse des conflits d'usage). Pour surmonter ces difficultés, nous avons engagé de la main d'œuvre sur financement externe au programme Eaux et territoires. Le LERNA a accueilli d'octobre 2009 à octobre 2010 un administrateur de l'INSEE qui a travaillé à temps complet sur le projet EAUSAGE-QUANT, et en particulier sur l'impact d'assurance multirisque climatique sur l'utilisation de la ressource en eau en Midi-Pyrénées. AGIR a recruté début 2010 un ingénieur dont une des tâches a été de travailler sur les scénarios qui impactent le secteur de l'eau en Midi-Pyrénées. Ces recrutements nous ont permis de rattraper, en partie, les retards initiaux.

Une deuxième difficulté est liée à l'origine disciplinaire très variée des équipes (économie, agronomie, télédétection). Lors de la première réunion annuelle du projet EAUSAGE-QUANT, un besoin d'échange méthodologique est apparu. Nous avons donc décidé d'organiser des séminaires méthodologiques permettant aux différentes disciplines de présenter les approches qu'elles vont mettre en œuvre. Ces séminaires méthodologiques ont débuté le 2 avril 2009 par une journée thématique sur la « Modélisation de l'usage agricole de l'eau en Midi-Pyrénées ». Le 12 février 2010 a eu lieu le deuxième séminaire sur le thème « Prospective eau et agriculture en Midi-Pyrénées ». Ces séminaires méthodologiques ont permis aux chercheurs venant d'horizons variés de se forger une culture commune.

Conformité des réalisations au projet initial

Nous considérons que nous avons respecté les objectifs initiaux du volet 1 (modélisation des usages) et du volet 2 (impact de scénarios). Les articles produits dans le cadre du projet proposent en effet une collection de résultats sur les différents usages (agricole, AEP, environnementale), à différentes échelles (agriculteur, petit territoire, région Midi-Pyrénées) et incluent une grande variété de test de scénarios (climatique, politique économique, réglementaire, ressource en eau). Pour ce qui y du volet 3 (conflit usage), nous n'avons pas réussi à aboutir à un modèle intégré multi-usage à l'échelle de la région Midi-Pyrénées, ce qui était notre objectif initial bien que non explicitement spécifié dans notre réponse à l'appel d'offre. Nous considérons cependant que notre contribution reste significative sur ce thème. Nous avons développé des modèles d'allocation optimale de l'eau pour des sous-bassins de la région et nous avons réfléchi à la nature des règles de partage. Nous avons également intégré des arbitrages entre usage agricole et usage environnemental.

LES RESULTATS

Afin de faciliter la lecture des résultats, nous avons choisi de présenter les principaux résultats du projet EAUSAGE-QUANT en reprenant sa structure. Nous présentons donc d'abord les résultats du volet « Modélisation de la demande en eau des différents usagers » puis ceux du volet « Développement et tests de scénarios » et enfin les résultats du volet « Analyse des conflits d'usage ».

VOLET 1 : « MODELISATION DE LA DEMANDE EN EAU DES DIFFERENTS USAGERS »

Rappelons en préliminaire qu'un enjeu important était de réussir à construire des modèles de demande en eau (agriculture et alimentation en eau potable, AEP) à une échelle régionale. Il s'agissait donc de dépasser ce qui est habituellement fait, à savoir des travaux sur des périmètres réduits (commune, petits bassin versant), pour aborder la question de la gestion de l'eau à une grande échelle.

Usage d'alimentation en eau potable

Les premiers travaux ont concerné l'alimentation en eau potable (AEP) de la région Midi-Pyrénées. Dans les articles [8] et [17]¹, nous avons estimé des fonctions de demande en eau potable pour les usagers domestiques de cette région. Il s'agit là du premier travail d'identification de cette fonction pour la région Midi-Pyrénées à partir de données représentatives (base IFEN-SCEES-Agence de l'eau).

Pour l'AEP, notre premier objectif était de voir en quoi l'outil tarifaire (prix de l'eau) est un moyen efficace de modifier le comportement des usagers domestiques. La réponse a été apportée par le calcul des élasticités prix des fonctions de demande en AEP dans les articles [8] et [17]. Dans l'article [17] nous obtenons des élasticités pour la région Midi-Pyrénées qui varient de -0.14 à -0.29 selon la méthode économétrique utilisée. Cela signifie que faisant face à une hausse de 10% du prix de l'eau, les ménages de Midi-Pyrénées réagiront en réduisant de 1.4% à 2.9% leur consommation en eau. L'ordre de grandeur des élasticités prix en Midi-Pyrénées est similaire dans le travail [8] puisque que l'élasticité prix est estimée à -0.10. Nous avons donc montré que la demande en eau potable en Midi-Pyrénées était inélastique mais pas parfaitement et donc que le prix constitue un instrument qui peut être mobilisé pour transmettre aux consommateurs un signal sur la rareté de cette ressource. Il faut nuancer un petit peu ce résultat dans la mesure où nous avons montré que l'élasticité prix de la demande est très hétérogène à l'intérieur de la région Midi-Pyrénées. En effet, dans [17], nous montrons qu'elle va de -0.05 pour le département du Tarn à -0.28 pour le département du Lot. L'élasticité prix diffère également selon la taille des communes considérées (-0.15 pour les communes de moins de 10,000 habitants et -0.10 pour les communes de plus de 10,000 habitants). Un enseignement en termes de politiques publiques à tirer de ces mesures d'élasticité prix est la nécessité pour les pouvoirs publics de mettre en œuvre des politiques tarifaire incitatives assez différenciées tant les disparités régionales sont importantes. Cela motive par exemple une plus grande différenciation des redevances agences de l'eau selon par exemple la taille ou bien la localisation des communes.

¹ Dans tout ce qui suit les numéros entre crochet correspondent au numéro de la liste de publication jointe à ce rapport de synthèse. Une copie de chaque publication mentionnée est disponible dans le rapport scientifique final.

Toujours pour l'AEP, un deuxième ensemble de résultats a concerné l'identification des déterminants de la demande en eau, c'est-à-dire l'identification des caractéristiques des ménages ou communes qui permettent de comprendre des différences de consommation en eau par ménage. Dans [17], nous montrons par exemple que la consommation en eau par ménage en Midi-Pyrénées est directement liée au niveau de revenu, les ménages les plus aisés ayant tendance à consommer significativement plus d'eau. Plus précisément, nous avons estimé l'élasticité revenu de la demande en AEP en Midi-Pyrénées à 0.17 ce qui signifie que, toutes choses étant égales par ailleurs, lorsque le revenu d'un ménage augmente de 10% en Midi-Pyrénées la demande en AEP augmente de 1.7%. Un résultat important pour la puissance publique a été de montrer que les conditions climatiques ont une influence significative sur la consommation en AEP. On montre en particulier qu'une augmentation de la température journalière moyenne de 1% s'accompagnera d'une augmentation moyenne en Midi-Pyrénées des besoins pour l'AEP de 0.24%. Il faut naturellement nuancer ce résultat en fonction de la localisation dans Midi-Pyrénées mais ce type de résultat peut être important pour la puissance publique pour mieux appréhender les impacts à long terme du changement climatique sur les comportements de consommation en eau des ménages de la région Midi-Pyrénées. Les estimations de la demande en AEP pour Midi-Pyrénées ont permis de confirmer des déterminants déjà identifiés dans de précédents travaux : caractéristique touristique ou non de la commune, caractéristique urbaine ou non de la commune, habitat collectif ou individuel, présence de ressource souterraine en eau, âge du chef de ménage, taille du ménage (voir [8] et [17]).

De manière plus originale, nous avons pu identifier pour la région Midi-Pyrénées un lien statistique significatif entre la consommation domestique en AEP et la qualité de l'eau, [17]. A notre connaissance, il s'agit de la première fois qu'un tel lien est formellement établi à l'échelle d'une région française. Dans [17], nous avons montré que la qualité des eaux brutes a un impact sur la consommation des ménages. Lorsque la part des rivières polluées autour d'une commune augmente de 10%, les ménages réduisent leur consommation de 1%, indépendamment de la qualité des eaux distribuées. Ce résultat alimente un débat récurrent sur la question de savoir si les consommateurs en AEP réagissent à la qualité de l'eau distribuée (qualité objective) ou bien à la qualité de l'eau dans leur environnement (qualité subjective perçue par un consommateur). En termes de politiques publiques, la conséquence est que la mise en place de politiques d'amélioration de la qualité de l'eau dans les rivières a un effet indirect positif sur la consommation en AEP des ménages, effet que l'on peut quantifier à partir du modèle de demande. Cette relation entre demande en AEP et qualité de l'eau nous est apparue suffisamment robuste pour engager en fin de programme des travaux sur ce thème. Dans [18], nous avons apparié à l'échelle du bassin Adour-Garonne des données de consommation en eau par ménage (enquête IFEN-SCEES-Agence de l'Eau) avec des données sur la qualité des eaux de surface et souterraines (SIE Agence de l'Eau Adour-Garonne) et avec des données sur la qualité des eaux distribuées (base SISE-Eaux). Les résultats obtenus confirment l'influence de la qualité des eaux brutes sur la consommation en AEP à l'échelle du bassin Adour-Garonne. Ils mettent également en lumière l'influence de la qualité des eaux distribuées en particulier par rapport aux pollutions bactériologiques et par les nitrates. Nous détaillerons dans le paragraphe « discussions et perspectives » les suites que nous allons donner aux travaux sur cette question.

Usage agricole de l'eau

Le deuxième usage sur lequel nous avons obtenus des résultats significatifs pour la région Midi-Pyrénées est l'usage agricole. Rappelons qu'avec 1,230 millions de m³ prélevés en

2007, cet usage représente un peu moins de 50% des prélèvements totaux mais plus de 80% de la consommation nette en eau. Une originalité du projet EAUSAGE-quant a été de combiner des travaux économétriques sur de grosses bases de données représentatives de la région Midi-Pyrénées avec des approches de couplages entre des modèles microéconomiques de décision avec des modèles agronomiques représentant la croissance des cultures, et avec des approches de programmation mathématique (voir volet 2).

Le premier travail sur l'usage agricole a été de construire et d'estimer un modèle de production agricole multi-output/multi-input à l'échelle de la région Midi-Pyrénées, modèle dans lequel le facteur de production « eau » est explicitement représenté, [9]. Ce modèle a été estimé à partir des données du Réseau d'Information Comptable Agricole (RICA) pour les années 1998-2004. Nous avons retenu trois OTEX (grandes cultures, polyculture et élevage) ce qui a conduit à un échantillon de 388 exploitations en moyenne par an. Nous avons considéré cinq facteurs de production (eau, engrais, protection, travail, autre).

En termes de modélisation, une originalité a été d'estimer ce modèle de production agricole (approche duale) avec des choix de culture endogènes.

En premier lieu, ce modèle économétrique a permis de caractériser les déterminants des choix d'assolement par les agriculteurs de Midi-Pyrénées. Nous avons identifié pour chaque culture les variables clés qui expliquent au niveau individuel qu'un agriculteur cultive ou non cette culture. Par exemple, la surface en maïs irrigué est directement influencée par le prix du maïs, les subventions pour le maïs et le prix de l'eau. Nous avons obtenu des élasticités de la surface allouée au maïs irrigué par rapport au prix de l'eau, au prix du maïs et aux subventions respectivement égales à -1.28, 0.55 et 1.68. A une augmentation de 10% du prix du maïs, les agriculteurs en Midi-Pyrénées réagissent par une augmentation des surfaces allouées au maïs irrigué de 5.5%. Le modèle de production a ensuite permis d'identifier les déterminants des demandes en facteur de production, dont l'irrigation. Nous avons par exemple montré que l'élasticité prix de la demande en irrigation est en moyenne égale à -0.81 en Midi-Pyrénées. A une augmentation de 10% du prix de l'eau, les agriculteurs réagissent par une réduction de 8.1% de l'irrigation. Nous avons ensuite quantitativement évalué le lien entre consommation en eau agricole et type de production agricole produite. Nous avons par exemple montré que l'élasticité de la demande en irrigation par rapport à la production en maïs irrigué est en moyenne égale à -0.96% en Midi-Pyrénées. A une augmentation de 10% du volume de maïs irrigué, la demande agricole en eau augmente de 9.6%. Cela traduit la prépondérance de cette culture en Midi-Pyrénées.

Le deuxième travail sur l'usage agricole a consisté à coupler un modèle micro-économique de l'exploitation agricole représentative en Midi-Pyrénées avec un module agronomique simulant la croissance de la plante, en fonction notamment des apports en eau, [1]. Un des objectifs de ce travail a été d'estimer le coût des épisodes de sécheresse de Midi-Pyrénées en distinguant ses capacités d'adaptation de court terme (stratégies d'irrigation) et de long terme (changement de système de culture).² Nous avons montré que le coût économique induit par les épisodes de sécheresse pouvait être élevé pour l'agriculteur, en particulier à court terme. Un autre type de résultat obtenu grâce ce modèle concerne l'assurabilité du risque de sécheresse ou plutôt la disposition à payer des agriculteurs pour avoir accès à une assurance

² Nous avons considéré 3 systèmes de culture représentatifs de l'OTEX grandes cultures en Midi-Pyrénées: une monoculture de maïs (très consommatrice en eau) ; une rotation entre blé dur et sorgho (moyennement consommatrice en eau) ou une rotation entre blé dur et tournesol (très peu consommatrice en eau).

qui couvrirait ce risque.³ Dans [1], nous avons montré que les primes de risque qu'un agriculteur représentatif de Midi-Pyrénées est prêt à payer pour ne plus supporter le risque de sécheresse vont de quelques euros par hectare dans le cas d'une aversion au risque faible à plus de 30 euros par hectare pour un agriculteur fortement averse au risque. Ce dernier chiffre indique qu'un marché privé de l'assurance sécheresse pourrait être viable. L'étude montre également qu'une différenciation des primes de risque en fonction de la nature du sol peut être envisagée dans le cas de préférences vis-à-vis du risque très marquées. L'article [7] introduit, toujours pour un agriculteur représentatif de Midi-Pyrénées, deux extensions au modèle développé dans [1]. D'abord, nous introduisons la date de semis comme une décision possible d'un agriculteur. Ensuite, nous considérons une situation où l'incertitude sur le climat est résolue de manière interim à différente date. Cela nous a permis de quantifier la valeur économique associée à une résolution précoce de l'incertitude sur le climat (valeur de l'information). Nous avons montré que l'agriculteur est prêt à payer 80.3 euros/ha pour une résolution précoce de l'incertitude climatique (environ 10% du profit/ha) par rapport à une résolution tardive. Cela donne une idée de la viabilité d'un marché pour des prévisions météorologiques « fiables ».

VOLET 2 « DEVELOPPEMENT ET TESTS DE SCENARIOS »

Dans ce deuxième volet du projet nous avons développé des scénarios de changement de contexte que nous avons ensuite évalué au moyen des modèles développés dans le premier volet. Ce nous a permis de mesurer les coûts associés à ces scénarios ainsi que les capacités d'adaptation des usagers de la ressource.

Usage d'alimentation en eau potable

Dans [17], nous testons des scénarios de tarification et d'évolution de la qualité des eaux brutes. Nous montrons qu'en moyenne pour la région Midi-Pyrénées, une augmentation de 10% du prix de l'AEP payé par les ménages se traduit par une perte de leur surplus de 1.5% (soit 24 euros/an/ménage). Si dans le même temps la qualité des eaux brutes s'améliore la perte de surplus est réduite à 21.3 euro/an/ménage. Le mécanisme original que nous avons mis en évidence dans ce travail est le suivant. Dans le cas d'une qualité élevée des eaux brutes (qui peut être assimilée par les ménages à une information sur une « bonne » qualité de l'AEP), les ménages favorisent l'eau du robinet pour leur consommation en AEP. Ils consomment donc plus de cette ressource en eau et la demande en AEP devient plus élastique, leur permettant de s'adapter à un moindre coût à une hausse du prix de l'eau.

Historiquement en Midi-Pyrénées, les pouvoirs publics ont géré les périodes de pénurie par des politiques de restrictions quantitatives des usages. Dans [17], nous avons simulé des restrictions d'usage et évalué leur coût pour les ménages. Nous avons par exemple considéré un scénario de réduction de 10% de la consommation en eau (cette réduction peut par exemple être vue comme la conséquence de l'évolution de la disponibilité en ressources). Nous avons alors montré qu'à prix de l'eau inchangé, le surplus des ménages allait diminuer en moyenne de 13.7 euros/an/ménage. Agrégé à l'échelle de la région, nous obtenons une perte annuelle de 16,6 millions d'euros. Ce chiffre est naturellement à nuancer du fait de l'incertitude associée au modèle mais il donne un ordre d'idée des pertes de « valeur

³ L'assurabilité d'un tel risque est une question posée à la fois aux pouvoirs publics, aux assurances privées et aux agriculteurs eux-mêmes.

économique » associées aux restrictions d'usages dans la région Midi-Pyrénées. Ce type d'information peut alors être utilisé par les pouvoirs publics en charge d'effectuer des arbitrages d'allocation de la ressource en eau.

L'été 2011 nous a rappelé qu'une caractéristique fondamentale de la gestion de la ressource en eau est qu'à la fois disponibilité et besoins varient fortement dans le temps. Ces éléments font que des systèmes de tarifications différenciés dans le temps pourraient apparaître comme des solutions intéressantes pour des gestionnaires de la ressource. Dans [8] nous avons donc estimé des modèles de demande en AEP qui font la distinction entre consommation en AEP en période de pointe (été) et en période hors pointe. Nous avons alors caractérisé quels devraient être les prix optimaux de l'eau pour les deux périodes. Le modèle théorique que nous avons développé montre que le passage d'une tarification uniforme à une tarification de pointe permet d'augmenter le bien-être social. Pour le cas de la région Midi-Pyrénées, l'application empirique dans [8] montre que ce gain est en fait très faible (moins de 1% du bien-être total). Nous avançons deux explications pour expliquer ce résultat. D'abord, comme la consommation de pointe et hors pointe sont en fait très inélastiques en Midi-Pyrénées, des changements de prix de l'eau ne peuvent seulement entraîner que de petites modifications de la consommation d'eau. Deuxièmement, les différences d'élasticité des prix de la demande en AEP en période de pointe et hors pointe sont en fait ici négligeables ce qui limite fortement l'intérêt d'une tarification différenciée.

Usage agricole de l'eau

En préambule, il faut noter que nous avons obtenu des résultats sur les méthodes de développement de scénarios pour l'usage agricole de l'eau. L'article [3] montre par exemple comment il est possible d'intégrer des connaissances expertes pour développer des scénarios spatialisés de système de culture.

Dans [8], nous avons testé sur l'usage agricole de l'eau en Midi-Pyrénées plusieurs scénarios de régulation par des outils de politiques économiques (restriction d'usage, augmentation du prix de l'eau, passage à une tarification de pointe). Les deux principaux résultats que nous avons obtenus sont les suivants. D'abord, nous avons d'abord montré que la modification du prix de l'eau a un impact non uniforme sur la consommation d'eau intra-annuelle. D'un point de vue des politiques économiques, cela signifie que, en cas d'augmentation du prix uniforme de l'eau, la consommation d'eau peut augmenter à certaines périodes de temps spécifiques. Une hausse de prix uniforme peut alors renforcer le problème de pénurie d'eau durant la période de pointe et d'autres instruments tels que la tarification de pointe devrait alors être préféré. Deuxièmement, nous avons démontré que la tarification de pointe semble être un instrument intéressant pour une autorité publique souhaitant transmettre aux agriculteurs des incitations à réaffecter l'utilisation d'eau de la période de pointe vers la période hors pointe. Ceci est rendu possible par le fait que l'utilisation d'eau de pointe et hors pointe semblent assez substituables dans le processus de production agricole, en tous les cas pour l'agriculteur type de Midi-Pyrénées sur lequel nous avons travaillé.

Nous avons ensuite construit et évalué des scénarios de changement climatique. Comme indiqué précédemment, dans [1] nous avons estimé le coût des épisodes de sécheresse pour un agriculteur représentatif de la région Midi-Pyrénées. Le modèle a été également utilisé pour évaluer le coût et les capacités d'adaptation d'un agriculteur de Midi-Pyrénées dans un contexte de changement climatique. A court terme, c'est-à-dire à système de culture donné,

nous avons montré lorsque 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 objectif économique (espérance d'utilité du profit). De plus, lorsque l'agriculteur ne peut pas anticiper les interdictions d'irrigation en période d'étiage lors des années sèches, la perte atteint dans ce cas 54 % de son profit. Il apparaît donc important que les pouvoirs publics mettent en place des mécanismes d'alerte précoce des sécheresses. A long terme, les choix optimaux d'assolement varient de manière très significative avec l'augmentation de l'intensité des sécheresses. Alors qu'on s'attend à ce que le choix du système de culture 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. Explications : dans un univers climatique incertain, un agriculteur présentant de l'aversion pour le risque (ce qui correspond relativement bien à la réalité française) 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.

Enfin, nous avons testé des scénarios d'évolution de la ressource en eau. A la différence de [9] qui est basé sur un modèle économétrique et de [1] ou [7] qui utilisent un couplage avec un simulateur agronomique, l'évaluation des scénarios de changement de la ressource en eau repose sur un modèle de programmation mathématique positive (PMP) que nous avons développé et appliqué au cas de la Boutonne (Charente-Maritime). Ce cas d'étude hors Midi-Pyrénées (mais toujours dans le bassin Adour-Garonne) s'explique par la très forte contrainte qui existe sur la ressource en eau dans cette zone. L'originalité de notre approche de PMP a été d'inclure en plus des choix de culture la possibilité pour les agriculteurs de faire de l'irrigation de déficit (déficit irrigation). Quatre scénarios d'évolution de la ressource en eau ont été considérés en plus du benchmark (-10% ; -20%, -30% et -40%). Nous montrons alors par exemple que lorsque l'irrigation la ressource en eau diminue de 40% par rapport au benchmark, la marge brute est réduite de plus de 22%. La substitution des cultures irriguées vers les cultures non irriguées (ou vers des cultures irriguées avec une intensité plus faible en irrigation) explique la réduction moins que proportionnelle de la marge brute.

VOLET 3 « ANALYSE DES CONFLITS D'USAGE »

L'objectif de ce dernier volet est de considérer les demandes des différents usagers ainsi que les scénarios, identifiés dans les volets 1 et 2 pour réfléchir à des schémas d'allocation de la ressource en eau entre différents usages potentiellement concurrentiels, en fonction des contraintes agronomiques, climatiques, environnementales, économiques et de disponibilité de la ressource.

La question des conflits d'usage nous est apparue assez rapidement extrêmement complexe à traiter. Nous avons alors choisi de faire un premier travail de revue de la littérature sur les systèmes de régulation possibles de la demande en eau (en particulier agricole) en France et dans le monde. C'est ce qui a été fait dans [15] qui introduit également le cadre d'analyse pour un partage des disponibilités en eau entre usages concurrents. Plus précisément, [15]

propose un modèle d'allocation d'un stock d'eau entre deux usages concurrents, ainsi que les conditions nécessaires pour que cette allocation soit optimale. Nous soulignons en particulier dans cet article les difficultés d'évaluer les bénéfices écologiques de la protection des hydrosystèmes et les solutions de second rang qui peuvent être mises en œuvre par les pouvoirs publics.

Les mécanismes d'allocation de la ressource en eau entre des usages concurrents visent à accroître le bien-être global associé à l'utilisation de la ressource. Il se peut cependant que certains usagers subissent des pertes de bien-être. Cela est particulièrement important pour l'usage d'AEP considéré, à juste titre, par la puissance publique comme l'usage prioritaire. Nous avons alors conduit un travail pour identifier jusqu'où les pouvoirs publics pouvaient agir sur la demande en AEP en cas de situation de pénurie d'eau par exemple. Nous avons pour cela estimé dans [12] une demande en AEP en utilisant une forme dite Stone-Geary qui permet de distinguer la consommation en eau non discrétionnaire⁴ d'un ménage de celle discrétionnaire. Le principal résultat que nous obtenons dans [12] a été de montrer que pour la région Midi-Pyrénées, alors que la consommation est en moyenne de 145 m³/an/abonné, la consommation non discrétionnaire est estimée à 114 m³/an/abonné. Cela signifie que les politiques de régulation de la demande en AEP ne pourront jouer que sur les 31 m³ au-delà du seuil de 114 m³/an/abonné. Nous poursuivons actuellement ces travaux en essayant de quantifier l'impact de différentes politiques de régulation de l'AEP sur les populations les plus pauvres. Cela permet de renseigner les pouvoirs publics sur l'acceptabilité sociale de tel ou tel schéma de partage de l'eau.

Dans [13] nous avons évalué différentes règles de partages de la ressource en eau entre des agriculteurs à l'échelle d'un territoire. Pour des raisons techniques, nous avons dû nous limiter à un territoire de taille raisonnable. Nous avons considéré un petit bassin versant situé en Gascogne dans le système Neste. Le modèle d'allocation régional représente alors un peu plus de 500 agriculteurs cultivant environ 30,000 ha sur lesquels 4,000 sont irrigués. Les principaux résultats obtenus dans [13] sont les suivants. Les nouvelles règles d'attribution conduisent en général à des changements dans les profits pour les cultures irriguées et non irriguées, mais ne modifient pas de façon significative le résultat économique global au niveau du territoire. Les processus de réallocation des terres permettent d'atténuer les effets économiques négatifs d'une réduction de la ressource et des nouvelles règles de partage. Toutefois, les nouvelles règles de partage impliquent des transferts de ressource entre agriculteurs très importants. Mettre en œuvre ces mécanismes de partage est donc une question politique délicate. On en revient alors à des questions d'acceptabilité des mécanismes de partage par les usagers de la ressource.

Finalement, dans l'article [16], nous considérons un arbitrage entre usage environnemental et usage agricole de la ressource en eau. On suppose que la protection des potentialités écologiques des milieux aquatiques requiert qu'un débit minimum soit assuré dans les cours d'eau. Il en résulte des contraintes de prélèvement importantes qui impactent significativement sur les possibilités d'irriguer les cultures. En même temps, une gestion de l'eau économiquement efficiente réclame que le bien-être apporté par l'activité agricole soit aussi pris en considération par le régulateur. On étudie ce problème en considérant une rivière pour laquelle la conservation de l'écosystème suppose de maintenir continuellement un débit circulant au-dessus d'un certain seuil.

⁴ Nous appelons consommation non discrétionnaire en eau d'un ménage sa consommation minimale, conditionnellement à ses équipements et aux conditions climatiques.

DISCUSSION ET PERSPECTIVES DU PROJET

DISCUSSION DES APPORTS D'EAUSAGE-QUANT AU REGARD DES OBJECTIFS DU PROGRAMME EAUX ET TERRITOIRES

Tel que spécifiés dans l'appel, les deux objectifs principaux du programme Eaux et Territoires étaient :

1) d'éclairer les politiques actuelles ou à venir portées par les acteurs publics responsables de la gestion des territoires et de la gestion de l'eau. Le but est de parvenir à décloisonner et à dépasser les politiques sectorielles et à proposer des approches et des modes de gestion transversaux.

2) de mettre en relation les connaissances relatives au fonctionnement des hydrosystèmes et celles qui portent sur les territoires. La notion de territoire est entendue ici comme « *portion d'espace appropriée de manière matérielle et/ou symbolique par des acteurs sociaux (élus, agriculteurs, chasseurs, pêcheurs, promeneurs, chercheurs, urbains, touristes...)* ».

Concernant le premier point (éclairer les politiques publiques), le projet contribue potentiellement au développement régional et à son analyse via les canaux suivants.

Il permet d'abord d'identifier les enjeux de développement de la région Midi-Pyrénées liés à l'utilisation de ses ressources en eau. La région Midi-Pyrénées est une des régions de France les plus concernées par le risque de déséquilibre entre besoins en eau et ressources, du fait de la fragilité structurelle des sources d'approvisionnement d'une part et d'une consommation d'eau à usage agricole fortement concentrée en été d'autre part. La connaissance des besoins des différents usagers et notamment des besoins du secteur agricole sont un élément indispensable au développement de notre région dans le futur. Ce projet apporte des éléments nouveaux sur les facteurs économiques et climatiques déterminant les besoins des différents usagers en matière de consommation d'eau. De telles études n'ont jamais été menées sur la région, à notre connaissance.

Ce projet contribue à la réflexion sur les outils d'analyse du développement régional. Il montre notamment qu'une bonne gestion des ressources en eau sur un territoire ne peut se faire qu'en mobilisant des experts issus de diverses disciplines dont les apports sont complémentaires : agronomes, spécialistes de la télédétection, économistes, climatologues. Les outils d'analyse sont améliorés au fur et à mesure que les approches développées dans ces différentes disciplines sont confrontées, notamment lors de séminaires méthodologiques.

Ce projet, centré sur la confrontation entre ressources et besoins en eau, contribue à la réflexion sur le lien entre développement durable et développement régional. Le développement des modèles de choix des agriculteurs apporte des éléments de réflexion sur (a) l'avenir de l'agriculture dans la région Midi-Pyrénées : quels choix de cultures dans le futur ? Quel revenu espéré pour l'agriculteur ? (b) la qualité de l'environnement dans la région : quelle consommation d'eau dans le secteur agricole ? Quelle utilisation d'intrants par le secteur agricole dans le futur ? Quel impact sur la quantité de ressources en eau disponible ? Sur la qualité de ces ressources ? Ce projet met en évidence les interactions entre choix économiques, développement régional et environnement. Il contribue à la réflexion sur le développement durable dans la région en analysant l'impact de scénarios climatiques

(reflétant l'évolution probable du climat régional dans le futur) sur les choix des usagers de la ressource en eau.

L'accent mis sur le rôle des facteurs économiques (prix de l'eau, prix des facteurs de production agricole, subventions) dans la modélisation des choix des usagers agricoles nous permet de contribuer à la réflexion sur le rôle des politiques publiques dans le développement régional. En effet, les résultats obtenus nous permettent de discuter le rôle des différents instruments de politiques publiques sur les choix des usagers.

Concernant le deuxième point (connaissance des interactions entre systèmes naturels et systèmes sociaux), nous pensons qu'EAUSAGE-QUANT a pu apporter les contributions suivantes.

Nous ne sommes pas certains que le projet ait contribué de manière fondamentale à une meilleure connaissance des interactions entre systèmes naturels et systèmes sociaux dans la mesure où, dans la plupart des modèles que nous avons développés, le système naturel (sol, climat, eau, plante) est intégré comme une contrainte de forçage que le « système social » doit gérer au mieux. Par contre, nous pensons que la représentation souvent très fine du système naturel nous a permis d'obtenir des résultats intéressants sur les capacités d'adaptation des « systèmes sociaux » que nous avons considérés (essentiellement les ménages et les agriculteurs). Afin d'illustrer ce propos, considérons les contraintes de disponibilité en eau pour l'usage AEP ou agricole qui pourraient résulter d'objectifs environnementaux (maintien de la vie aquatique). En général, les contraintes prises en compte dans le modèle qui existent sont des contraintes de volume, la puissance publique se bornant à attribuer un quota d'eau à l'un ou l'autre des usages. Dans la plupart des travaux que nous avons menés, nous avons montré qu'il pouvait être important de ne pas se limiter à cette vision simpliste mais qu'il fallait en fait intégrer explicitement la disponibilité *temporelle* de la ressource en eau. Pour l'usage agricole nous avons par exemple montré qu'une augmentation du prix de l'eau allait bien se traduire par une baisse du volume global annuel, mais que cette baisse annuelle pouvait s'accompagner d'un accroissement de la demande à certains moments de l'année (période de pointe). Ainsi, dans un modèle « simpliste » l'augmentation du prix de l'eau agricole permet de relâcher la contrainte de disponibilité en eau et a donc un effet bénéfique pour l'environnement alors que dans un modèle plus complexe cette augmentation peut se traduire par un problème plus grave de disponibilité en période de pointe.

Le projet EAUSAGE-QUANT a également contribué à certains objectifs secondaires du programme Eaux et Territoires.

Nous avons d'abord contribué au développement d'outils conceptuels pour agréger les études locales et monter en généralité. Nous avons montré dans le cadre du projet qu'il est illusoire de vouloir traiter d'un problème aussi complexe que le partage d'une ressource en rare entre différents types d'usagers à l'échelle du grand territoire en utilisant un seul type de modèle ou un seul type d'approche. Nous avons montré qu'au contraire, il convient de mobiliser une chaîne de modèles et en fait de développer une sorte de boîte à outils dans laquelle on vient piocher au cas par cas selon la problématique étudiée. A titre d'exemple, pour l'usage agricole nous avons mobilisé des modèles qui décrivent des comportements d'agriculteurs ou bien de groupes d'agriculteurs. Ces modèles reposent dans certains cas sur des approches économétriques ([9]), sur des couplages de modèles de décision avec des modèles biophysiques ([1], [7], [13], [16]) ou bien sur des modèles de programmation mathématique (programmation mathématique positive dans [14]). Ces modèles sont dans certains cas

représentatifs d'un agriculteur type ([1], [7]), des agriculteurs d'un bassin versant ([13]) ou bien de l'ensemble des agriculteurs de la région Midi-Pyrénées ([9]).

Concernant les processus de transfert de la connaissance, d'intégration des résultats scientifiques et de l'expertise dans les processus de décision des politiques et, des gestionnaires publics ou privés nous pensons que certains résultats du projet sont directement utilisables. En voilà quelques exemples. L'article [1] quantifie le gain qu'il y a pour les pouvoirs publics à mettre en place des mécanismes d'alerte sécheresse précoce. Dans [4] nous calculons des primes de risque que les agriculteurs sont prêts à payer pour ne pas avoir à supporter les risques climatiques. Cette information est fondamentale pour la mise en place de mécanismes assurantiels. Dans [13], nous étudions l'impact de différentes règles de partage de la ressource en eau, à l'échelle d'un petit bassin versant. Les résultats obtenus peuvent aider les organismes uniques en charge de répartir la ressource en eau entre irrigants. Dans [12], nous identifions des seuils de consommation en AEP non discrétionnaire. Cette information est utile pour des pouvoirs publics qui souhaitent réfléchir à l'accessibilité au service de l'eau des populations les plus pauvres. En termes de processus de transfert de la connaissance, l'appartenance du projet EAUSAGE-QUANT au programme « Pour et Sur le Développement Régional (PSDR3) » (<http://www4.inra.fr/psdr-midi-pyrenees/Projets-de-recherche>) fait que les acteurs institutionnels locaux ont été régulièrement tenus au courant des résultats et des avancées d'EAUSAGE-QUANT (voir section suivante).

Enfin, nous pensons que le volet 2 du projet EAUSAGE-QUANT a largement contribué au développement de scénarios non tendanciels permettant de mieux anticiper l'émergence de nouveaux problèmes et de ruptures dans un contexte de changement global. Nous avons assez longuement discuté ces points précédemment donc nous n'y revenons pas ici.

PERSPECTIVES ET CONDITIONS DE GENERALISATION DES RESULTATS EN DEHORS DU CAS D'ETUDE

La première perspective pour le projet EAUSAGE-QUANT consiste à poursuivre les efforts d'intégration des différents modèles de demande dans un cadre unifié, chose que nous n'avons pas pleinement réussi à faire ici. Cela nécessite encore des efforts d'ingénierie notamment d'interfaçage de modèles.

La deuxième perspective concerne la prise en compte de façon plus satisfaisante de (usage environnemental de la ressource en eau. Dans les travaux qui ont été effectués, l'environnement a été vu comme une contrainte qui impacte le système économique. Il est évident qu'il s'agit là d'une vision très simpliste qu'il conviendrait de raffiner. Des travaux sur les valorisations économiques rendus par les hydrosystèmes devraient être intégrés à l'analyse. L'introduction d'une fonction de dommage environnemental dans [16] constitue déjà un pas dans cette direction.

Certaines dynamiques de long terme n'ont pas pu être considérées dans le cadre des travaux que nous avons effectués. Nous pensons en particulier à l'évolution de la démographie puisque les prévisions à 2030 indiquent une augmentation substantielle de la population de Midi-Pyrénées, surtout dans les zones urbaines. On pense également au progrès technique que l'on peut attendre notamment dans le secteur agricole.

ACTIONS DE TRANSFERT

Il faut d'abord noter que l'implication des acteurs est sensiblement différente selon que l'on considère le volet 1 ou bien les volets 2 et 3.

Dans le volet 1, les acteurs (Agence de l'eau Adour-Garonne) ont été associés au départ à la définition de la problématique et ont eu un rôle important de soutien technique (fourniture de données, par exemple). Les chercheurs ont alors développé leurs modèles de manière assez indépendante avec relativement peu d'interactions avec les acteurs (exception faite d'un séminaire de prospective qui a associé en février 2010 chercheurs et acteurs).

Les relations entre acteurs et chercheurs sont beaucoup plus marquées dans les volets 2 et 3. Concernant par exemple le travail sur les scénarios relatifs aux systèmes de culture du territoire, nous avons construit des scénarios sur la base de notre expertise. Nous les avons ensuite soumis à nos partenaires (CACG et AEAG), au cours d'entretiens de manière à susciter de leur part (i) un avis sur les scénarios construits et (ii) des suggestions pour de nouveaux scénarios. Les scénarios initiaux ont porté d'une part sur le changement d'itinéraires techniques du maïs (changement des précocités et dates de semis), et d'autre part sur le changement de cultures (remplacement du maïs par une succession blé-tournesol). Les deux partenaires ont validé le type de scénarios présentés, arguant de leur intérêt pour alimenter le débat sur la définition des volumes prélevables pour l'irrigation et pour alimenter les prospectives liées au changement climatique. La poursuite du travail a impliqué la consultation de partenaires sur une base plus large (incluant notamment la profession agricole) pour préciser ces scénarios en termes de nature des changements à effectuer et en termes de facteurs de localisation de ces changements.

En terme d'action de transfert, il faut relever que le projet EAUSAGE-QUANT est co-financé par le programme « Pour et Sur le Développement Régional (PSDR3) » (voir le site internet <http://www4.inra.fr/psdr-midi-pyrenees/Projets-de-recherche>). A ce titre les chercheurs ont exposé leurs résultats à plusieurs reprises aux acteurs et au monde du développement. Le 17 décembre 2010, s'est tenu une réunion rassemblant des chercheurs du projet EAUSAGE-QUANT et des représentants de l'ensemble des chambres d'agriculture de la région Midi-Pyrénées avec pour vocation de stimuler les liens entre chercheurs et acteurs afin d'améliorer la valorisation des résultats produits dans les différents projets PSDR3.

Un élément d'interaction très forte entre les chercheurs du projet EAUSAGE-quant et les acteurs a été le séminaire prospectif « eau & agriculture » organisé le 12 février 2010 conjointement par les projets PSDR PROUESSES et EAUSAGE sur l'Agri-campus de Toulouse⁵. Les chercheurs du CESBIO, du LERNA et d'AGIR ont pu au cours de cette journée exposer les premiers résultats issus de EAUSAGE-QUANT et interagir avec un grand nombre d'acteurs (DRAF, chambre d'agriculture, Agence de l'Eau, Arvalis Institut du Végétal). Ce séminaire prospectif a permis de réfléchir à la question du changement et de l'adaptation sur le temps long des activités agricoles, plus spécialement dans le secteur des grandes cultures, en Midi Pyrénées, en lien avec des problèmes de rareté de la ressource en eau.

En terme de transfert effectif, les résultats du travail sur l'adaptation de l'agriculture au risque de sécheresse en Midi-Pyrénées (Reynaud A., Adaptation à court et à long terme de

l'agriculture au risque de sécheresse : une approche par couplage de modèles biophysiques et économiques, *Review of Agricultural and Environmental Studies*, 2009, 90(2) : 121-154) ont été largement repris par la DRAAF Midi-Pyrénées dans le numéro de juillet 2009 de la série *Analyses*. Cela constitue un canal de transfert des recherches académiques menées dans EAUSAGE-QUANT vers un public plus large (administration et collectivités locales).

LISTE DES PUBLICATIONS

Note : tous les articles mentionnés dans ce qui suit sont disponibles dans le rapport final scientifique.

Articles publiés ou à paraître dans des revues à comité de lecture

[1] Reynaud A. Adaptation à court et à long terme de l'agriculture au risque de sécheresse : une approche par couplage de modèles biophysiques et économiques, *Review of Agricultural and Environmental Studies*, 2009, 90(2) : 121-154.

[2] Reynaud A. Regulating intra-annual agricultural water use under climate and price uncertainty. A paraître dans *Options Méditerranéennes*.

[3] Clavel L., D. Baudais, J. Soudais et D. Leenhardt. Integrating expert knowledge and quantitative information for mapping cropping systems. A paraître dans *Land Use Policy*.

Articles en révision ou soumis à des revues à comité de lecture

[4] Reynaud A. et S. Couture. Stability of Risk Preference Measures: Results From a Field Experiment on French Farmers. Second révision à *Theory & Décisions*.

[5] Clavel L., M-H. Charron, D. Baudais, J. Soudais, O. Théron et D. Leenhardt. SPACSS: A tool for translating qualitative scenarios of cropping system distribution into maps of cropping systems. Soumis à *Environmental Modelling and Software*.

[6] Reynaud, A., Couture S., Duruy J. and J-E Bergez. « Farmer's Risk Attitude: Reconciling Stated and Revealed Preference Approaches? ». Soumis à *American Journal of Agricultural Economics*.

[7] Reynaud A. «Land use and intra-annual agricultural water use under climate and price uncertainty: A French case study». Soumis à *Agricultural Economics*.

Articles présentés dans des conférences ou séminaires

[8] Reynaud, A. «Assessing the Impact of Peak-load Pricing on Residential Water Demand ». Présenté lors de la conférence de l'AFSE en juin à Toulouse, de l'EAERE en juin à Gothenburg et de l'EARIE en septembre 2008 à Toulouse. Présenté en séminaire de l'UMR SMART le 17 novembre 2008.

[9] Giordana, G., C. Nauges et A. Reynaud. «Agricultural water demand and output endogeneity ». Présentation au séminaire PROUESSES décembre 2009.

[10] Clavel L., M-H. Charron, D. Baudais, J. Soudais et D. Leenhardt. 2009. Spatialising a biodecisional crop-model to assess the sensitivity of a region to modifications in agricultural practices. AgSAP Conference 2009 (Integrated Assessment of agriculture and sustainable

development; setting the agenda for science and policy), Egmond aan Zee, the Netherlands, 202-203.

[11] Clavel L., M-H. Charron, O. Therond, D. Leenhardt, 2010. SPACSS, a prototype for decision-makers aiming at designing cropping system distributions with stakeholders. Agro 2010, Congress of European Society of Agronomy, Montpellier, septembre 2010.

[12] Valinas M-G., C. Nauges et A. Reynaud. 2010. How much water do residential users really need? An estimation of minimum water requirements for French households. Présenté au congrès mondial des économistes de l'environnement et des ressources naturelles à Montréal, Juillet 2010.

[13] Lanzasova D. et A. Reynaud. 2010. « Sharing water across heterogenous farmers under climate uncertainty ». Présenté au congrès mondial des économistes de l'environnement et des ressources naturelles à Montréal, Juillet 2010.

[14] Reynaud. A. "Measuring cost and adaptation of farmers to limited water availability conditions using PMP: A French case study". Présenté en groupe de travail UMT Eau.

Autres articles

[15] Lanzasova D. 2011. Régulation de la demande en eau agricole et gestion des conflits d'usage. Eléments de bibliographie. Document de travail LERNA.

[16] Lanzasova D. 2011. Régulation de la demande en eau agricole et valeur environnementale de la ressource. Une approche par couplage de modèle économique avec un modèle biophysique. Document de travail LERNA.

[17] Giordana, G., C. Nauges et A. Reynaud. « A note on the estimation of the residential water demand in the Midi-Pyrénées region ». Document de travail LERNA.

[18] Valinas M-G et A. Reynaud. 2010. "Residential water demand and water quality: An application to the Adour-Garonne basin (France) ». Document de travail LERNA.

Travaux de formation par la recherche (pour des raisons de place, ces documents ne sont pas inclus)

[19] Lanzasova D. « Economie de l'eau à différentes échelles ». Thèse de doctorat de l'Université de Toulouse soutenue le 8 septembre 2011.

[20] Escarnot Marlène. Rapport de stage Magistère Economie & Statistiques 1ère année «Analyse de la consommation et pollution de l'eau à usage industriel». Encadrement Céline Nauges et Arnaud Reynaud (LERNA).

[21] Lystard Léa. Rapport de stage Magistère Economie & Statistiques 2ème année «Etude de la consommation en eau à usage agricole». Encadrement Céline Nauges et Arnaud Reynaud (LERNA).

[22] Massy Rolio. Rapport de stage de Licence Mass « Impact du changement climatique sur la distribution spatio-temporelle des pratiques culturelles en Midi-Pyrénées ». Encadrement Delphine Leenhardt

[23] Touria Chafqane. Rapport de stage Master 1 : Informatique Statistique Mathématiques Appliquées à la Gestion de production « Cartographie des pratiques agricoles ». Encadrement Delphine Leenhardt.

[24] Masson Yann, juillet 2009. Rapport de stage de Licence Professionnel GCAT « Essai de démixage de pixels d'images Végétation 2 à partir d'une occupation du sol fournie par le registre parcellaire graphique dans le sud-ouest toulousain ». Encadrement Auda Yves, Cesbio.