

Approches économiques de la gestion des eaux souterraines

Jean-Daniel Rinaudo

► To cite this version:

Jean-Daniel Rinaudo. Approches économiques de la gestion des eaux souterraines. Economies et finances. Université Montpellier I, 2013. <tel-00829450>

HAL Id: tel-00829450

<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00829450>

Submitted on 3 Jun 2013

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.

Université de Montpellier I
Faculté de Sciences Economiques
CNU section 5

Approches économiques de la gestion des eaux souterraines

Mémoire rédigé en vue de l'obtention
de l'Habilitation à Diriger des Recherches

2012

Jean-Daniel Rinaudo

Chercheur, économiste de l'environnement
BRGM, Service Eau, Montpellier

Tuteur : Jean-Michel Salles
Directeur de recherche CNRS
UMR LAMETA, Montpellier

Avril 2012

Table des matières

I. Résumé de carrière	5
1. Curriculum vitae	5
1.1. ETAT CIVIL.....	5
1.2. FORMATION ET TITRES.....	5
1.3. EXPERIENCES PROFESSIONNELLES.....	5
2. Résumé du parcours professionnel et scientifique	6
2.1. CHRONOLOGIE D'UNE TRAJECTOIRE SCIENTIFIQUE	6
2.2. LA VIE DE CHERCHEUR DANS UN EPIC.....	7
3. Coordination scientifique et contrats	8
3.1. RESPONSABILITE DE COORDINATION SCIENTIFIQUE INTERNE AU BRGM	8
3.2. COORDINATION DE CONTRATS DE RECHERCHE	9
3.3. PRINCIPALES CONTRIBUTION A CONTRATS DE RECHERCHE SANS RESPONSABILITE DE COORDINATION.....	9
3.4. ACTIVITES D'EXPERTISE EN FRANCE ET A L'INTERNATIONAL	10
4. Enseignement et encadrement d'étudiants	11
4.1. COURS	11
4.2. CO-ENCADREMENT DE DOCTORANTS.....	11
4.3. DIRECTION DE MEMOIRES DE NIVEAU MASTER II	11
5. Principales collaborations scientifiques	12
5.1. COLLABORATIONS NATIONALES	12
5.2. COLLABORATIONS INTERNATIONALES.....	12
5.3. DIVERS.....	13
6. Liste des publications.....	13
6.1. EVALUATION BIBLIOMETRIQUE	13
6.2. ARTICLES DANS DES REVUES SCIENTIFIQUES A COMITE DE LECTURE.....	13
6.3. DOCUMENTS DE TRAVAIL ET ARTICLES EN COURS DE PUBLICATION	15
6.4. CHAPITRES D'OUVRAGES.....	15
6.5. COORDINATION D'OUVRAGES COLLECTIFS.....	16
6.6. ARTICLES DANS DES REVUES TECHNIQUES AVEC COMITE DE LECTURE	16
6.7. REVUES TECHNIQUES SANS COMITE DE LECTURE	16
6.8. AUTRES CONTRIBUTIONS.....	17
II. Synthèse des travaux	18
1. Introduction	18
1.1. LE BASSIN VERSANT COMME OBJET D'ETUDE	18
1.2. UNE RECHERCHE ANCREE DANS LA REALITE DU TERRAIN.....	19
1.3. UNE RECHERCHE TOURNEE VERS LES POLITIQUES PUBLIQUES	20
1.4. QUATRE AXES DE RECHERCHE.....	21
2. Conflits et réformes des politiques de l'eau	22
2.1. PROBLEMATIQUE ET ANCRAGE THEORIQUE	22
2.2. CONFLITS ET REFORME DE LA GESTION LES PERIMETRES IRRIGUES	22
2.3. CONFLITS D'USAGES DANS LES BASSINS VERSANTS MEDITERRANEENS	25

3. Instruments économiques et gouvernance des eaux souterraines	27
3.1. PROBLEMATIQUE ET ANCRAGE THEORIQUE	27
3.2. REGULATION DES PRELEVEMENTS EN EAU SOUTERRAINE : LE CAS DES FORAGES AGRICOLES.....	31
3.3. REGULATION DE L'ACCES A L'EAU SOUTERRAINE : LE CAS DES FORAGES DOMESTIQUES.....	33
4. Evaluation économique des politiques de protection des eaux souterraines.....	36
4.1. CONTEXTE, PROBLEMATIQUE ET ANCRAGE THEORIQUE.....	36
4.1. EVALUATION DES DOMMAGES EVITES	37
4.2. SERVICES RENDUS PAR LES EAUX SOUTERRAINES	38
4.3. CONCLUSION.....	41
5. Simulation du long terme dans un contexte de changement global	41
5.1. PROBLEMATIQUE GENERALE ET POSITIONNEMENT.....	41
5.2. L'APPROCHE PAR LA MODELISATION	42
5.3. L'APPROCHE PAR LA PROSPECTIVE.....	44
5.4. CONCLUSION SUR L'INCERTITUDE.....	47
6. Conclusion.....	47
III. Projet de recherche	48
1. Principales orientations	48
1.1. PREAMBULE	48
1.2. RECENTRAGE SUR LA GESTION QUANTITATIVE.....	48
1.3. OUVERTURE VERS LE SUD DE LA MEDITERRANEE.....	48
1.4. EQUILIBRE ENTRE THEORIE ET APPLICATION, ECONOMIE ET PLURIDISCIPLINARITE.....	49
2. Axes de recherche	49
2.1. REGULATION DE L'ACCES ET DE L'USAGE DES EAUX SOUTERRAINES.....	49
2.2. MODELISATION HYDROECONOMIQUE DES BASINS VERSANTS	51
2.3. VULNERABILITE ECONOMIQUE ET ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE	52
3. Conclusion.....	53
IV. Références bibliographiques	55
V. Tirés à part	62

Liste des figures

Figure 1 : Evolution des réserves en devises (millions USD) et principales décisions relatives à la réforme de la politique de gestion de l'eau.....	23
Figure 2 : Fonctionnement schématique du système de corruption administrative et politique.....	24
Figure 3 : Variables explicatives de la corruption (modèle Probit).....	24
Figure 4 : Répartition spatiale des prises d'eau illégalement agrandies	25
Figure 5 : Prise d'eau illégalement modifiée	25
Figure 6 : Hiérarchisation des scénarios selon deux axes (France).	33
Figure 7 : Evolution moyenne du seuil de rentabilité d'un forage individuel pour différents scénarios de tarification de l'eau potable. Valeurs moyennes agrégées sur 160 communes dans le département de l'Hérault.	35
Figure 8 : Estimation du % de ménages équipés d'un forage individuel réalisé. Département de l'Hérault.	35
Figure 9 : Hiérarchisation des aquifères selon un critère de valeur économique totale (variant de 0 à 1).	39
Figure 10 : Fontaine publique prévue pour distribuer l'eau de la nappe de l'Albien à la population parisienne en cas de pollution NBC.....	39
Figure 11 : Comparaison des facteurs constitutifs de la valeur de trois aquifères.....	39
Figure 12 : Représentation simplifiée de la nappe présentée dans le questionnaire	40
Figure 13 : Représentation de l'évolution de l'état de la nappe dans le temps (scénario de référence).....	40
Figure 14 : Evolution des surfaces affectées par la pollution par les nitrates avec 3 scénarios.	43
Figure 15 : Fonction de répartition de l'indicateur de pollution azotée (moyenne par ha, zone d'étude).	44
Figure 16 : Evaluation des besoins en eau d'irrigation associés à deux scénarios d'évolution de l'agriculture dans les Pyrénées Orientales. <i>Source</i> : [1].....	45
Figure 17 : Evolution des besoins en eau d'irrigation et en eau potable avec 3 scénarios dans l'île de la Réunion.	46

I. Résumé de carrière

1. Curriculum vitae

1.1. Etat civil

RINAUDO Jean-Daniel

Né le 14/08/1971 à Marseille

Vie maritale, 4 enfants

Chercheur en économie

BRGM, Service EAU

1034 rue de Pinville, 34000 Montpellier

Unité Nouvelles Ressources et Economie

Tel 04 67 15 79 90. Courriel : jd.rinaudo@brgm.fr

1.2. Formation et titres

- 2000 :** **DOCTORAT EN ECONOMIE** de l'Université de Clermont-Ferrand (CERDI).
« *Rentes, corruption et lobbying politique : obstacles aux réformes dans le secteur irrigué au Pakistan* ». Sous la direction de Jean-Paul Azam. Mention très honorable avec félicitations du jury. Rapporteurs : J-P Platteau, D. Vande Walle
- 1994 :** **DEA ECONOMIE DU DEVELOPPEMENT AGRICOLE AGROALIMENTAIRE ET RURAL**, Université Montpellier I et ENSAM.
« *Development of a tool to assess the impact of water markets on agricultural production in Pakistan* ». Lauréat du prix Xavier Bernard de l'Académie de l'Agriculture
- 1994 :** **DIPLOME D'INGENIEUR AGRONOME**, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier

1.3. Expériences professionnelles

CHERCHEUR EN ECONOMIE AU BUREAU DE RECHERCHES GEOLOGIQUES ET MINIERES (BRGM)

Le BRGM est un établissement public de recherche spécialisé dans le domaine des géosciences. Sous tutelle des ministères de la Recherche et de l'Environnement, il dispose d'un statut d'EPIC.

2012- : Responsable du programme scientifique « Economie de l'Environnement » transversal aux domaines thématiques du Brgm Eau, sol, géothermie, déchets

2004 - : Développement, gestion et animation scientifique d'une équipe d'économistes (6 ingénieurs et chercheurs) au Brgm (Montpellier). Référent scientifique du Brgm dans le domaine de l'économie de l'eau

2000 à 2004 : Responsable de projets de recherche régionaux et transfrontaliers dans le bassin Rhin Meuse (Brgm Strasbourg). Réalisation de missions d'expertise en France, pour la Commission Européenne (DG Environnement) et à l'international (Russie, Estonie, Malte ...)

DOCTORANT EN ECONOMIE – CEMAGREF & UNIVERSITE DE CLERMONT-FERRAND (CERDI)

1997 à 1999 : Etude de l'acceptabilité des réformes de la gestion des périmètres irrigués publics au Pakistan. Analyse des problèmes de corruption dans les périmètres irrigués. Détaché 16 mois à l'IWMI, Lahore, Pakistan.

ECONOMISTE AGRICOLE – INTERNATIONAL WATER MANAGEMENT INSTITUTE (PAKISTAN)

1994 à 1996 : Etude de l'impact des marchés de l'eau informels sur la productivité agricole, région du Punjab, Pakistan. Analyse des systèmes de production agricole. Modélisation micro-économique (Stage de DEA, Service National en Coopération et CDD).

2. Résumé du parcours professionnel et scientifique

Cette section du mémoire présente les principales étapes mon parcours professionnel et scientifique en insistant sur ce qui en fait la spécificité. Elle se termine par une rapide présentation de mes axes de recherche.

2.1. Chronologie d'une trajectoire scientifique

En 1994, à l'issue de la période de cours du DEA d'économie du développement agricole, agroalimentaire et rural, alors codirigé par les Professeurs Lacombe et Boisson, je réalise mon premier travail de recherche sur les marchés de l'eau au Pakistan au sein de l'International Water Management Institute (IWMI). Un premier stage de six mois se poursuit par un an et demi de service national en coopération (1995-1996) au sein du même institut de recherche. Je développe des modèles microéconomiques d'exploitations agricoles, avec mon collègue Pierre Strosser, en vue de simuler le fonctionnement d'un marché de droits d'eau entre agriculteurs [21]. Cette première expérience sera déterminante à plusieurs égards. Tout d'abord, je découvre les problématiques liées à l'eau sur lesquelles j'ai toujours travaillé depuis. Je me familiarise avec la recherche pluridisciplinaire, au sein d'équipes où l'économiste collabore avec l'hydraulicien, l'agronome, le sociologue et l'anthropologue. Cette pluridisciplinarité me fait prendre conscience de la complexité du système que j'étudie et de la nécessité de fonder la recherche économique dans le domaine de l'eau sur une très bonne connaissance du terrain, c'est-à-dire de la ressource étudiée mais aussi des modes de coordination des acteurs autour de son usage. C'est ce travail de terrain qui me fait découvrir l'ampleur de la corruption au sein des périmètres irrigués du Pakistan [18]*, [19]*. Comprenant que cela représente un obstacle majeur à la mise en place des mécanismes de marché que propose alors la Banque Mondiale, j'oriente mes recherches sur ces phénomènes de corruption administrative et politique.

Fin 1996, le Cemagref (devenu depuis IRSTEA) et l'IWMI s'accordent pour financer la poursuite de mes travaux dans le cadre d'une thèse. Celle-ci se déroulera en grande partie au Pakistan, puis au Cemagref. Réalisée sous la direction de Jean-Paul Azam (à l'époque professeur au CERDI à l'université d'Auvergne), elle s'inscrit dans le cadre théorique de l'économie politique. La collaboration avec Jean-Paul Azam me permet de m'initier aux outils de modélisation analytique. Et c'est en tentant de représenter de façon stylisée les mécanismes de corruption administrative et politique qui déterminent l'allocation de l'eau dans les périmètres irrigués au Pakistan [26]* que je découvre la difficulté de l'exercice, notamment le risque de vouloir forcer une réalité complexe à rentrer dans des cadres conceptuels issus, en l'occurrence, de la théorie des jeux. L'expérience sera néanmoins concluante, puisque après une semaine de travail et de négociation avec Jean-Paul Azam, nous arrivons finalement à établir une représentation formalisée de mon objet d'étude sans trahir la réalité de terrain. Je garderai néanmoins une certaine prudence vis-à-vis de l'utilisation de la modélisation analytique, conscient que la recherche de l'élégance mathématique de la solution peut parfois conduire à rater les enjeux.

La thèse déposée, je suis recruté dans une équipe de recherche du Service Eau du BRGM en mars 2000. Ma mission consiste à développer la recherche en économie (inexistante à mon arrivée), en étroite collaboration avec les hydrogéologues en poste à Montpellier. C'est la découverte de la recherche sur contrats, notamment européens et de la comptabilité analytique du temps. La collaboration avec mes collègues de Montpellier est rapidement fructueuse, se traduisant par quelques articles pluridisciplinaires co-signés [14][16]. Ma collaboration avec le Cemagref se poursuit également, donnant lieu à d'autres publications communes ([11]*, [12][13][15][17]). Mes travaux se concentrent alors sur les conflits d'usages de l'eau et les problématiques de gestion quantitative des eaux souterraines. Ils sont réalisés dans le cadre des projets européens GOUVERNE ([14][16]) et AQUADAPT ([35]) avec des applications dans l'Hérault.

Après une année à Montpellier, je suis muté à ma demande à l'antenne régionale d'Alsace où, tout en poursuivant mes projets en Languedoc, je développe une activité de recherche transfrontalière sur la gestion de la nappe phréatique du Rhin Supérieur. L'obtention de nouveaux contrats en Alsace me permettent de remettre en chantier des travaux de modélisation économique dans le secteur agricole et d'initier une recherche sur les coûts de la pollution des eaux souterraines. Cette activité de recherche en Alsace, et plus largement dans le bassin Rhin Meuse se poursuivra après mon retour à Montpellier en mars 2004 et donnera lieu à des publications jusqu'en 2012 [2]*.

L'obtention de nouveaux contrats de recherche a progressivement permis de recruter cinq jeunes agro-économistes¹ dont j'assure l'encadrement à partir de 2004. Cette mission d'encadrement a pour effet de ralentir ma propre production scientifique et, dans une certaine mesure, de la disperser, puisque j'accompagne désormais cinq jeunes chercheurs travaillant sur des thématiques et des objets très différents (bien que toujours liés à la gestion de l'eau). Mais ces collaborations internes portent leurs fruits, tant sous forme de publications communes ([2]* [6] [7]* [9] [25]* [31] [45]), que de nouvelles compétences développées par l'équipe (évaluation contingente, programmation mathématique positive...).

La montée en puissance de mes jeunes collègues économistes me permet de relancer une production propre à partir de 2007-2008. Avec le projet européen AQUAMONEY (2006-2009), j'expérimente la méthode d'évaluation contingente. Le projet ANR « Eau&3E » me permet de travailler sur la modélisation de la demande en eau potable et les problématiques de tarification, sur des terrains déjà connus depuis 10 ans. Une mission en Californie et des contacts avec des Australiens m'ouvrent des perspectives de collaborations futures (coédition d'ouvrages collectifs [40] et [41]). Les projets VULCAIN et AQUIMED me donnent l'occasion de développer de nouvelles compétences dans le domaine de la prospective et de renforcer mes collaborations avec d'autres sciences sociales en France et au Portugal ([3]* [26]* [1]). Le succès de la proposition de recherche européenne « Water Cap & Trade », dont j'assure la coordination, me permet de développer de nouvelles collaborations avec des économistes en Espagne et en Italie. Grâce à l'obtention d'un cofinancement du BRGM et de l'IRSTEA, je peux aussi mettre en place une thèse portant sur les instruments économiques pour la gestion décentralisée des eaux souterraines. Cette thèse est réalisée par Anne-Gaëlle Figureau que je co-encadre avec Marielle Montginoul (directrice de la thèse). En parallèle, j'initie une autre thèse sur la modélisation hydro-économique de bassins français et espagnol, thèse que je codirige avec mon collègue Professeur Manuel Pulido Velasquez de l'Université Polytechnique de Valence en Espagne (l'HDR n'étant pas nécessaire pour cela en Espagne).

En 2011, le BRGM crée et me confie la responsabilité scientifique d'un programme cadre² qui regroupe la recherche en économie de l'eau et de l'environnement de l'établissement. La décision de rendre visible l'économie dans la programmation scientifique est une étape majeure qui ouvre de nouvelles perspectives quant au développement de notre domaine de recherche vers d'autres ressources naturelles dont les sols, les ressources minérales, les ressources géothermiques. Ce renforcement de la position de ma discipline au sein de l'établissement et de ma propre position ouvre également des perspectives en matière de financement et d'encadrement de nouveaux doctorants. Le temps semblait donc venu de défendre un dossier d'Habilitation à Diriger des Recherches.

2.2. La vie de chercheur dans un EPIC

L'une des grandes particularités de mon cursus professionnel et scientifique est d'avoir réalisé l'ensemble de mes travaux de recherche post-thèse dans un organisme de recherche ayant le statut d'Etablissement Public à Caractère Industriel et Commercial (EPIC). Il en découle un mode de fonctionnement bien particulier, qui présente des contraintes très fortes mais aussi des opportunités, que je tente rapidement de présenter ici, en illustrant l'impact qu'elles ont eues sur ma trajectoire scientifique.

La première spécificité de la recherche en EPIC est que la quasi intégralité de l'activité scientifique est réalisée dans le cadre de contrats, puisque la dotation affectée par les ministères de tutelle ne couvre que 50% (pour le BRGM) des coûts de fonctionnement et structurels (y compris masse salariale) de l'établissement. Les chercheurs doivent donc consacrer un temps relativement important à la réponse aux appels à projets de recherche, parfois au détriment de l'activité de production scientifique. Ils doivent également consacrer un temps important à la rédaction de rapports de recherche qui doivent être rendus avant toute publication (que nous n'arrivons pas toujours à réaliser faute de

¹ Sébastien Loubier, Madjid Bouzit, Nina Graveline, Cécile Hérivaux, Stéphanie Aulong et Laure Maton ont successivement rejoint et contribué à construire cette équipe économie au BRGM.

² Le projet cadre regroupe 10 projets dont 2 ANR, 1 projet Era Net, 2 contrats de recherche avec l'Agence de l'Eau RM&C. Début 2012, l'ensemble de la recherche du BRGM est structurée en 33 projets cadres.

temps). Par ailleurs, cette dépendance vis-à-vis des financements extérieurs peut conduire le chercheur à changer régulièrement l'approche de ses problématiques, voire ses outils d'analyse ou même ses thèmes de recherche en fonction de la demande des financeurs. Il en résulte des trajectoires scientifiques personnelles moins linéaires que celles observées dans les EPST ou les universités. Dans ce contexte, la stratégie d'adaptation que j'ai retenue pour assurer une cohérence à mes travaux a consisté à ouvrir plusieurs axes de recherche qui ont progressé en parallèle avec un rythme variable, dépendant des opportunités offertes par les appels d'offre.

Bien que très contraignant, ce mode de fonctionnement a aussi représenté une grande source de richesse pour mon développement personnel. Il m'a tout d'abord permis d'acquérir une excellente pratique du montage et de la gestion de projets de recherche, que j'ai pu mettre au service du développement d'une équipe. Plus important, ce mode de fonctionnement m'a permis de multiplier les collaborations scientifiques, tant avec le monde de la recherche qu'avec les acteurs de l'eau en France et en Europe. La richesse de ces collaborations est attestée par un nombre important de publications co-signées avec ces partenaires. J'ai ainsi co-signé des articles scientifiques avec des chercheurs français de l'UMR G-EAU, de Montpellier SupAgro, de l'UMR CIREN mais aussi avec des collègues européens du European Joint Research Center (Italie), de l'Université de Cranfield (UK), de l'Université d'Alicante (Espagne), de l'Université de Lisbonne (SOCIUS et ICS). D'autres collaborations m'ont permis de collaborer à des ouvrages collectifs (Université de Valencia, Université East Anglia, Université Libre d'Amsterdam) et plus récemment de codiriger la rédaction de tels ouvrages (Université Nationale de Cambera).

La seconde spécificité de la recherche en EPIC est l'obligation de contribuer à des actions relevant des missions de service public de l'établissement. Il s'agit dans la plupart des cas de participer à des études à fort contenu méthodologique répondant à des préoccupations opérationnelles d'acteurs publics tels que les Agences de l'Eau, l'ONEMA, les services décentralisés de l'Etat, les collectivités territoriales voire des acteurs internationaux. J'ai ainsi participé à plus d'une trentaine d'études de service public dont certaines nécessitant plusieurs mois de travail par an. La nature des travaux réalisés dans ce cadre ne représentant pas des avancées scientifiques majeures, ils ne sont généralement publiés que dans des revues techniques. Néanmoins, ce type d'intervention permet de découvrir de nouveaux terrains sur lesquels des projets de recherche peuvent ensuite être déployés. Les activités de service public aident aussi le chercheur à affiner la nature de ses questionnements scientifiques en se confrontant aux attentes sociales exprimées par les partenaires de terrain. Elles permettent d'exploiter des données peu accessibles au monde académique. Enfin, elles offrent l'opportunité de constituer un réseau d'acteurs de terrain indispensable à la mise en œuvre de certaines méthodologies développées dans le cadre de projets de recherche. Cette coexistence d'une activité de service public et de recherche représente donc, de mon point de vue, une très grande richesse dont je pense avoir su tirer bénéfice au cours de ces années passées au BRGM.

3. Coordination scientifique et contrats

3.1. Responsabilité de coordination scientifique interne au Brgm

- **2012-** : Coordinateur scientifique du programme de recherche en économie de l'environnement transversal aux différents domaines thématiques du Brgm (eau, sols, géothermie). Ce programme regroupe projets en économie, dont 2 projets ANR, 1 projet Era Net, 1 thèse. Budget annuel : 765 000€.
- **2006 – 2012** : Référent scientifique du Brgm en économie : relecture des propositions techniques et rapports, appui aux services régionaux, correspondant du Brgm auprès de l'ONEMA pour les problématiques économiques.
- **2003-2011** : Développement (ex-nihilo), gestion et animation scientifique d'une équipe de recherche en économie de l'environnement, constituée de 6 ingénieurs de recherche et chercheurs à fin 2011. Développement des compétences des jeunes chercheurs.

3.2. Coordination de contrats de recherche

a) Contrats de recherche européens

- WATER CAP & TRADE. Water market scenarios for Southern Europe. Projet Era Net IWRM (2010-2013). Responsable de la coordination générale : 6 partenaires France Espagne Italie. Budget total : 583 000€.
- AQUIMED. Changement climatique et adaptation de la gestion des eaux souterraines. Projet Era Net CIRCLE-MED (2008-2010). Coordination du travail de prospective dans le Roussillon. Soutien méthodologique à l'équipe Portugaise. Budget Brgm géré : 75 000 €.
- AQUAMONEY. Evaluation of environmental and resource costs for the implementation of the Water Framework Directive. Projet 6^{ème} PCRD (2007-2009). Coordination du cas d'étude sur les eaux souterraines. Budget Brgm géré : 160 000€.
- AQUADAPT. Strategic tools to support adaptive, integrated water resource management under changing conditions. Projet 5^{ème} PCRD (2002-2004). Coordination du cas d'étude Français. Budget Brgm géré : 210 000€.
- MONIT. Modélisation hydro- économique de la nappe d'Alsace. Projet InterReg Transfrontalier France Allemagne (2002-2006). Coordination du groupe de travail économie. Budget géré : 370 000€.

b) Contrats de recherche nationaux et régionaux

- EAU&3E. Gestion Durable des Services d'eau potable. Projet ANR Villes Durables (2009-2013) Coordination du WP « scénarios d'évolution de la demande en eau ». Coordination cas d'étude sur Agglomérations Montpellier et Perpignan. Coordination partenariat avec VEOLIA EAU et SAUR. Budget Brgm géré : 320 000 €.
- SMIGDES. Instruments économiques et gestion décentralisée des eaux souterraines. Projet financé par l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse (2010-2013). Conception et test d'instruments sur 3 terrains d'étude (économie expérimentale) en collaboration avec Irstea (doctorante A.G. Figureau). Budget : 72 000€ + salaire thèse cofinancé par Brgm et Irstea.
- OUEST HERAULT. Optimisation économique de la gestion des ressources en eau de l'Ouest de l'Hérault. Projet cofinancé par Agence de l'Eau, Région Languedoc Roussillon et Conseil Général 34 (2006-2012). Optimisation économique de la gestion quantitative des ressources en eau dans l'Ouest du département de l'Hérault. Développement d'un modèle hydro-économique (GAMS) avec doctorant C. Girard (Université Valencia, en cours). Coordination générale. Budget : 275 000 €.
- WAT. Demande eau et Urbanisme. Projet financé par le Conseil Général de l'Hérault (2010-2011). Simulation de l'impact de différents scénarios de croissance démographique et d'urbanisation (formes urbaines, densité) sur la demande en eau en 2030. Ateliers de prospective « eau et urbanisme » avec des élus. Coordination générale. Budget géré : 130 000€.
- COUTREF. Méthodologie d'évaluation du coût de mise en œuvre de la Directive cadre sur l'eau. Projet financé par l'Agence de l'Eau Rhin Meuse (2005-2007). Coordination générale. Budget géré : 185 000€.
- POLDIF. Approche rétrospective et prospective du coût de la pollution de la nappe d'Alsace. Coût de la pollution de la nappe d'Alsace. Coordination générale. Projet Région Alsace. Budget : 124 000€.

3.3. Principales contribution à contrats de recherche sans responsabilité de coordination

- BRIDGE. Définition et évaluation économique des normes de qualité environnementale pour les eaux souterraines. Projet 6^{ème} PCRD (2005-2006). Contribution : réalisation d'une évaluation des bénéfices de la protection des eaux souterraines en Alsace (évaluation contingente). Analyse coûts-bénéfices.

- SWIFT-WFD. *Evaluation du potentiel économique de capteurs biophysiques innovants pour le suivi de la qualité de l'eau*. Projet 6^{ème} PCRD (2005-2006). *Contribution* : consultation d'acteurs de l'eau ; évaluation de la valeur économique de l'information produite par ces capteurs.
- GOUVERNE. *Gouvernance et planification de la gestion de l'eau*. Projet 5^{ème} PCRD (2000-2003). *Contribution* : Développement de méthodes de participation du public visant à développer des outils multimédia pour la consultation du public en matière de gestion de l'eau.

3.4. Activités d'expertise en France et à l'International

a) Coordination d'expertises collectives

- COMMISSION EUROPEENNE (2002-2003). Appui à l'élaboration de la Directive fille sur les Eaux souterraines. Evaluation du coût des dommages générés par la pollution des eaux souterraines (revue de littérature et cas d'étude). Chef de projet et coordinateur de l'équipe Brgm – Ecologic (Allemagne). Budget : 80 000€.
- AGENCE DE L'EAU SEINE NORMANDIE (2006). Evaluation économique du projet de SDAGE (sous bassin Seine aval). Mission de 8 mois. Budget : 75 000 €.
- SYNDICAT ARDECHE CLAIRE (2006-2007). Construction et évaluation économique de scénarios alternatifs de gestion de l'eau dans le bassin versant de l'Ardèche. Mission de 9 mois. Budget : 90 000 €.

a) Projets de coopération internationale

- RUSSIE (2004-2005). Appui au St Petersburg Geological Expedition pour l'évaluation de l'impact économique des pollutions d'origine minières et analyse économique de solutions de remédiation. 4 missions dans le cadre d'un projet LIFE pays tiers.
- ESTONIE (2003-2005). Appui au Ministère de l'Environnement pour (i) la mise en œuvre du volet économique de la directive cadre sur l'eau et la mise en œuvre d'une consultation des acteurs de l'eau. 6 missions (60 jours) dans le cadre d'un projet LIFE.
- MALTE (2007). Appui à la mise en œuvre du volet économique de la Directive cadre européenne sur l'eau, Malte. 3 missions courtes (18 jours) dans le cadre d'un projet de Jumelage Franco-Maltaise (sur fonds européens).

b) Missions d'expertise ponctuelles

- POLOGNE (2006). Appui à l'Office International de l'Eau et au Ministère de l'Environnement pour la mise en œuvre du volet économique de la Directive Cadre sur l'Eau. 1 mission dans le cadre d'un projet de jumelage Franco-Polonais (sur fonds européens).
- ORGANISATION MONDIALE DE LA METEOROLOGIE (2006). Participation à la révision du document guide « Assessing the economic value of hydrological information ». 1 mission, Genève.
- COMMISSION EUROPEENNE, DG ENVIRONNEMENT (2005). Contribution à une expertise collective (Brgm – Ecologic Berlin) : Economic assessment of soil degradation in Europe. Contribution méthodologique sur thématiques contamination des sols et érosion (10 jours).
- COMMISSION EUROPEENNE DG ENVIRONNEMENT & DG REGIO (2002). Participation à l'animation de 2 ateliers de travail pour faire émerger des projets pilotes (gestion de l'eau) dans le cadre des fonds pré-accession (ISPA) pour les 10 pays candidats. 2 missions (Prague, Riga).

4. Enseignement et encadrement d'étudiants

4.1. Cours

- **Université Polytechnique de Valencia (Espagne)** – Bénéficiaire d'une bourse de professeur invité du Ministère de la Science et de l'Education Espagnol en 2012. Master / PhD course on *Groundwater economics* (module 10 heures).
- **Master Eau Montpellier, filière Eau et Société.** Responsable d'un module de 20 heures sur « Approches économiques de la gestion des eaux souterraines ». A partir de 2012.
- **Montpellier SupAgro** (Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier) – Master TERPA et Master GEME– « Gestion intégrée des ressources en eau : l'apport de l'analyse économique ». Cours et TD (6 h). 2006 à 2011.
- **Université Montpellier II** – Master Pro Gestion et Evaluation des Ressources en Eau – « Evaluation économique des projets et politiques de gestion de l'eau ». Cours (4h), depuis 2007.
- **ENGEE** (Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg) – Cours de 1ère année – Gestion des ressources en eau. Cours (9 h). Depuis 2004.
- **ENGREF** (Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et Forêts) Paris – Formation professionnelle – L'analyse économique dans la Directive cadre. Cours (4 h). De 2003 à 2005.
- **CNEARC** (Centre National d'Etude Agronomique des Régions Chaudes) Montpellier – Master Gestion Sociale de l'Eau. Cours (4 h). Corruption et comportement de recherche de rente dans les périmètres irrigués publics. En 2000 et 2001.

4.2. Co-encadrement de doctorants

- **2011-2014** : Anne-Gaëlle Figureau, Université Montpellier 1 et Montpellier SupAgro. Sous la direction de Marielle Montginoul. Titre : "Instruments économiques pour la gestion décentralisée des eaux souterraines ».
- **2011-2014** : Corentin Girard, Université Polytechnique de Valencia (Espagne). A hydroeconomic model for optimizing water resources management in a climate change context. Sous la codirection de Manuel Pulido-Velazquez et J-D. Rinaudo.
- **2008-2011** : Participation au comité de pilotage de la thèse de Vincent Lenouvel, sous la direction de Sophie Thoyer, Université de Montpellier 1 et Montpellier SupAgro.
- **2005-2008** : Participation au comité de pilotage de la thèse de Gaston Giordana, sous la direction de Marc Willinger, Université de Montpellier 1.

4.3. Direction de mémoires de niveau Master II

- **2012** Mélanie Vernier, agro-économiste, Master POLMAR, Agro Campus Ouest. Conception d'un marché de certificats d'économies d'eau.
- **2010** Agathe Duponteil, agro-économiste, Master POLMAR, Agro Campus Ouest. Scénarios de développement des marchés de l'eau dans le secteur agricole en France : une approche expérimentale.
- **2009**: Noémie Neverre, agro-économiste, Master POLMAR, Agro Campus Ouest. Evaluation économétrique de la demande en eau potable et simulation de l'impact de changements tarifaires.
- **2006** Hélène Bouscasse, ENSAE (6 mois). Contribution à la réalisation d'une évaluation contingente. Co-encadrement S. Aulong (Brgm)
- **2006** Sophie Bonnier, ENSAM, DEA économie du développement agricole : Analyse coût efficacité de mesures de gestion de l'eau dans l'Ouest du département de l'Hérault. Co-encadrement avec S.

Thoyer (Sup Agro).

- **2004** Nina Graveline, INA-PG, DEA Economie de l'environnement et des ressources naturelles : Modélisation micro-économique des exploitations agricoles.
- **2003** Nathalie Chancel, ENGREF, Master gestion de l'eau : Construction de scénarios prospectifs dans le bassin versant de l'Hérault. Co-encadrement avec Sébastien Loubier, Cemagref.
- **2002** Nicolas Grandemange, stage fin d'étude, ENGEES. Evaluation du coût de la pollution de la nappe d'Alsace par les nitrates et les phytosanitaires pour les acteurs du secteur eau potable.
- **2001** Julie Ruhlmann, stage fin d'étude, ENGEES : Analyse des conflits d'usages dans le bassin versant de l'Hérault.
- **2000** Laurent Langlade, CNEARC, stage de fin d'étude formation Gestion sociale de l'eau : Analyse des conflits d'usages dans la moyenne vallée de l'Hérault. Co-encadrement avec Patrice Garin, Cemagref.
- **1998** Zubair Tahir, University of Lahore, faculty of economics. Stage de MSc: Irrigation management policies and reforms in Pakistan, an historical perspective.

5. Principales collaborations scientifiques

Je n'indique ci-dessous que les principales collaborations scientifiques ayant donné lieu à des productions scientifiques communes (publications parues ou en cours, co-encadrement d'étudiants).

5.1. Collaborations nationales

- **IRSTEA - UMR G-EAU**, Montpellier. Collaboration soutenue depuis 2000 avec P. Garin, M. Montginoul, A. Richard, S. Loubier. 13 publications communes (hors publications issues de la thèse).
- **CIRAD – UMR G-EAU** – Collaboration avec N. Fayssse dans le cadre du projet AQUIMED (2009-2011), 1 publication commune [22]. Collaboration avec N. Fayssse et M. Kuper dans le cadre du projet ANR ARENA Groundwater, travail en commun au Maroc (2012-2014). Collaboration avec JL Fusiller, île de la Réunion, 1 publication commune [24].
- **AgroParis Tech** – UMR CIREN. Collaboration avec Bernard Barraqué dans le cadre du projet ANR Eau&3E sur la gestion durable des services d'eau potable. 1 publication commune [44].
- **LAMETA** – Sup Agro. Collaboration avec Sophie Thoyer dans le cadre de ma thèse. Publications [19]*[39]
- **Université d'Auvergne, CERDI** – Réalisation de la thèse de doctorat sous la direction de Jean-Paul Azam (1997-2000)
- **CIRAD - UMR GREEN** – Collaboration avec Christophe Lepage, développement d'un modèle multi-agents des périmètres irrigués au Pakistan. Publication [38].

5.2. Collaborations internationales

- **Université Polytechnique de Valencia**, IAAMA– Manuel Pulido Velasquez – Modèles d'optimisation de la gestion des bassins versants – Collaboration dans le cadre du projet PCRD Aquamoney (2006-2008). Contribution à ouvrage collectif [27]. Co-encadrement d'un doctorant (2011-2014). Enseignement (2012).
- **Université Polytechnique de Madrid**, CEIGRAM – Alberto Garrido– Collaboration sur le thème des marchés de l'eau dans le cadre du projet Water Cap & Trade. Publication en cours de préparation « Water markets scenarios for Southern Europe ». 2011-2012.
- **Université de Cartagena** – Javier Calatrava – Marchés de l'eau, projet Water Cap & Trade – Article en préparation « A market for water saving certificates ». 2011-2012.

- **Université de Lisbonne** : collaboration avec Sofia Bento de l'ISEG-UTL (**Institut des Sciences Economiques et de Gestion**) et avec Marta Varanda de l'ICS –UL (**Institut des Sciences Sociales**) – Collaboration dans le cadre du projet AQUIMED (2009-2011) – 3 publications communes [3]* [22][23]. Montage du projet ADRES dans le cadre de l'ANR Blanc International (03/2012).
- **National Australian University**. Collaboration avec Quentin Grafton (coordination d'un ouvrage collectif « Urban water demand in transition ») et avec Tony Jakeman (coordination ouvrage collectif « Integrated groundwater management »). Démarrage 2011.
- **Université Libre d'Amsterdam, IVM** : collaboration avec Roy Brouwer dans le cadre des projets 6ème PCRD BRIDGE (2004-2006) et AQUAMONEY (2006-2008). Contribution à un ouvrage collectif commun coédité par Roy Brouwer et David Pearce [36].
- **Joint Research Center of the EU, Ispra**. Collaboration avec Angela Peraira dans le cadre du projet GOUVERNe. Publication commune [16].
- **Université de Cranfield** – collaboration avec Paul Jeffrey dans le cadre des projets 5ème PCRD GOUVERNE et AQUADAPT. 2 publications communes [16][35].
- **Université d'Alicante** – collaboration avec Antonio Aledo dans le cadre du projet AQUADAPT. Publication commune [16][35].
- **International Water Management Institute** (Pakistan et Sri Lanka). Accueil en stage de DEA, CDD puis thèse. Plusieurs séjours pour un total de 3 ans de 1994 à 1997.

5.3. Divers

- Relecteur pour les revues scientifiques : Agricultural Water Management – Ecological Economics – Environmental Modelling and Software – Journal of Hydrology – Natural Resources Forum – Water Policy.
- Membre du Conseil Scientifique de l'Agence de l'Eau Adour Garonne (depuis 2011).

6. Liste des publications

6.1. Evaluation bibliométrique

Une recherche bibliographique avec l'outil d'évaluation développé par **Harzing** (Publish or Perish) identifie 72 publications référencées dans Ces 72 publications parues sur une période 19 ans, sont citées 224 fois au total.

L'indice h est de 7.

Papers:72	Cites/author: 86.10	hc-index: 5	e-index: 8.94
Cites/paper: 3.11	g-index: 12	AWCRpA: 9.78	hl,norm: 5
h-index: 7	AW-index: 5.08	Cites/year: 14.00	hm-index: 4.63
AWCR: 25.76	Years: 16	Authors/paper: 3.28	
Citations: 224	Papers/author: 28.30	hl-index: 2.13	

Résultat d'une recherche Harzing's Publish or Perish du 14 avril 2012

6.2. Articles dans des revues scientifiques à comité de lecture

La colonne de droite indique le facteur d'impact de la revue et précise si la revue est répertoriée par l'AERES dans la section économie et gestion.

- [1] RINAUDO, J.-D., L. Maton, I. Terrason, S. Chazot, A. Richard-Ferroudji, and Y. Caballero. (accepté). Combining scenario workshops with modeling to assess future irrigation water demand. *Agricultural Water Management*. 2.4

- | | | |
|------|--|-----------------|
| [2] | Graveline, N., S. Loubier, G. Gleyses, and J.-D. RINAUDO. (2012). Impact of farming on water resources: assessing uncertainty with Monte Carlo simulations in a global change context. <i>Agricultural Systems</i> . | AERES
(2.9) |
| [3] | RINAUDO, J.-D., M. Montginoul, M. Varanda, and S. Bento. (2012, sous presse). Envisioning innovative groundwater regulation policies through scenario workshops in France and Portugal. <i>Irrigation and Drainage</i> . | 0.5 |
| [4] | RINAUDO JD, Neverre N and Montginoul M (2012). Simulating the impact of pricing policies on urban water demand: a Southern France case study. <i>Water Resources Management</i> . | 2.5 |
| [5] | Montginoul M and RINAUDO JD (2011). Controlling Households' Drilling Fever in France: an economic modelling approach. <i>Ecological Economics</i> . Vol 71 : 140-150. | AERES
(3.2) |
| [6] | Graveline, N., L. Maton, H. Lückge, Josselin Rouillard, P. Strosser, K. Palkaniete, J.-D. RINAUDO, Didier Taverne, and E. Interwies. (2010). An operational perspective on potential uses and constraints of emerging tools for monitoring water quality. <i>Trends in Analytical Chemistry</i> . Vol. 29:378-384. | -- |
| [7] | Graveline, N., RINAUDO J-D, Loubier S., et Segger V. (2009). Scénarios d'évolution à long terme de la pollution des eaux souterraines par les nitrates : une approche par couplage de modèles dans le bassin du Rhin supérieur. <i>Economie Rurale</i> . 310: 22-39. | AERES |
| [8] | Montginoul M., et RINAUDO J-D. (2009) Quels instruments pour gérer les prélèvements en eau souterraine ? <i>Economie Rurale</i> . 310: 40-56. | AERES |
| [9] | Graveline N. et RINAUDO J-D. (2009). Constructing scenarios of agricultural diffuse pollution using an integrated hydro-economic modelling approach. <i>European Water</i> . | -- |
| [10] | RINAUDO J-D., Arnal C., Blanchin R., Elsass P., Mailhac A., Loubier S. (2005) Assessing the cost of groundwater pollution: the case of diffuse agricultural pollution in the Upper Rhine valley aquifer, <i>Water Science and technology</i> , Vol. 52 (9) - pp. 153-162. | 0.8 |
| [11] | RINAUDO.J-D., Garin.P. (2005) The benefits of combining lay and expert knowledge for water management planning at the watershed level., <i>Water Policy</i> , Vol 7, p. 279-293. | 0.9 |
| [12] | Loubier.S., RINAUDO.J-D., Garin.P., Boutet. A. (2005) Preparing public participation at the catchment level: comparison of three methodologies applied to the Hérault river basin, <i>Water Science and technology</i> , Vol. 52 (12) - pp. 33-41. | 1.16 |
| [13] | Montginoul.M., RINAUDO.J.D., Lunet Delajonquière.Y., Garin.P., Marchal J-P. (2005)[14][14] Simulating the impact water pricing on household behaviour: the temptation of using untreated groundwater, <i>Water Policy</i> , Vol. 7, pp. 523-541. | 0.9 |
| [14] | Lanini.S., Courtois.N., Giraud.F., Petit.V., RINAUDO.J.D. (2004) Socio-hydrosystem lumped modelling for integrated water resources management - Middle Herault Valley (France), <i>Environmental modelling and software</i> Vol. 19 pp. 1011-1019. | AERES
(2.9) |
| [15] | Garin.P., RINAUDO.J.D., Ruhlmann.J.D. (2002) Linking expert evaluations with public consultation to design water policy at the watershed level, <i>Water Science and technology</i> , Vol. 46, p. 6-7. | 1.16 |
| [16] | Pereira A.G., RINAUDO J-D. Jeffrey P., Blasques J., Quintana J.B., Corral. S., Courtois N., Funtovicz S., Petit.V. (2003) ICT tools to support public participation in water resource governance and planning : experience from the design and testing of a multimedia platform, <i>Journal of Environmental Assessment Policy and Management</i> , Vol. 5 N° 3, p. 395-420. | -- |
| [17] | Garin.P., RINAUDO.J.D. (2003) Savoirs profanes et expertise en débat pour une planification concertée de la gestion de l'eau, <i>Sociologies Pratiques</i> , N°7, pp. 93-114. | -- |
| [18] | RINAUDO.J.D. (2002) Corruption and water allocation: the case of public irrigation in Pakistan, <i>Water Policy</i> , Vol. 4 - pp. 405-422. | 0.9 |
| [19] | RINAUDO.J.D., Strosser. P. and Thoyer S. (2000) Distributing water or rents? Examples from a public irrigation system in Pakistan, <i>Canadian Journal of Development Studies</i> , Vol. 21, pp. 113-139. | AERES
(0.14) |
| [20] | RINAUDO J.D., Morardet.S. (1999) Acceptabilité des réformes des politiques de gestion de l'eau: cadre d'analyse et exemples, <i>Economie Rurale</i> , N°. 254. | AERES |

- [21] RINAUDO J.-D., Strosser P., Rieu T. (1997) Linking water market functioning access to water resources and farm production strategies, *Journal of Irrigation and drainage systems*, Vol. 11, pp. 261-280. --

6.3. Documents de travail et articles en cours de publication

- [22] Faysse, N., J.-D. RINAUDO, S. Bento, A. Richard, M. Errahj, M. Varanda, A. Imache, M. Dionnet, D. Rollin, P. Garin, M. Kuper, L. Maton, and M. Montginoul. (soumis 02/12). Participatory analysis for adaptation to climate change in Mediterranean agricultural systems: possible choices in process design. *Regional Environmental Change*. AERES (1.3)
- [23] RINAUDO J.-D., Bento S., Varanda M. and Richard-Ferroudji A (soumis 04/12). Envisioning Adaptation to Climate Change: Comparing two Scenario based Approaches in France and Portugal. *Ecology and Society*. AERES (3)
- [24] Graveline, N., Aunay, B., Fusillier, J.L., RINAUDO, J.D (soumis 04/12) Integrating participative foresight and cost-efficiency analysis in water management plan design. *Water Resources Management*. (2.5)
- [25] Aulong S et RINAUDO J.D (soumis 04/12) Is it worth decontaminating groundwater? Lessons from a cost-benefit analysis in a French case study *Journal of Environmental Management*. AERES
- [26] Azam J-P et RINAUDO J.-D. (2004) Encroached entitlements: corruption and appropriation of irrigation water in Southern Punjab (Pakistan). IDEI working paper N 252. Toulouse. Accessible à : <http://neeo.univ-tlse1.fr/1625/> --

6.4. Chapitres d'ouvrages

- [27] RINAUDO J.-D., Graveline N. and Petit V (à paraître en 2012). Combining hydrogeological and economic models for designing groundwater protection policy in the Upper Rhine valley aquifer. In: Economics in Water Management Models. Applications to the EU Water Framework Directive. Pulido M, Heinz, I. Lund, J. and Andreu, J (eds). Springer.
- [28] Richard-Ferroudji, A., P. Garin, Matignon M, Maton M, RINAUDO J.-D et Rollin D. (2012 à paraître). Engager des agriculteurs à répondre à l'injonction d'adapter la gestion de l'eau au changement climatique : éléments pour la conception de démarches prospectives participatives. In : Agir en situation d'incertitude. La construction individuelle et collective des régimes de protection et d'adaptation en agriculture V. Ancey, B. Dedieu, M. Antona, I. Avelange, G. Azoulay, I. Darnhofer, B. Hubert, B. Lémery (Ed.), L'Harmattan.
- [29] Courtois, Lanini, Petit, RINAUDO (2009) Gestion intégrée des ressources en eau : limites et perspectives des outils prototypes développés dans le bassin versant de l'Hérault. In : le Golfe du Lyon, un observatoire de l'environnement en Méditerranée. A Monaco, W Ludwig, M Provencal, B Picon (eds). Edition QUAE. Pp. 79-90.
- [30] RINAUDO J.-D. (2008). Corruption in Pakistan irrigation systems. In : Transparency International: Global Corruption Report 2008. Cambridge University Press. Pp. 77-79
- [31] Lücke H., Stosser P, Graveline N., Dworak T., RINAUDO J.-D. (2009) Assessing the Impacts of Alternative Monitoring Methods and Tools on Costs and Decision Making: Methodology and Experience from Case Studies. In: Rapid Chemical and Biological Techniques for Water Monitoring. Gonzalez C., Greenwood R. & Quevauviller Ph., Eds. (2007), Water Quality Measurement Series, John Wiley & Sons Ltd., Chichester.
- [32] RINAUDO J.D and P. Strosser (2007). Groundwater Management and Planning: how can economics help? In: Groundwater Science and Policy, Quevauvillier P (ed). Royal Society of Chemistry: London.
- [33] Graveline N., RINAUDO J.-D, Segger V., Lambrecht H., Casper M., Grimm-Strele J, Van Dijck P, Koller R., Gudera and Elsass P. (2007) Integrating economic with groundwater modelling for developing long term nitrate concentration scenarios in a large aquifer. In Aquifer Systems Management: Darcy's legacy in a world of impending water shortage, Chery L and de Marsilly G (eds). AA. Balkema Publisher.
- [34] Aunay, B., Dorfliger N., Duvail C., Grelot F., Le Strat P., Montginoul M., and RINAUDO J.-D. (2007). A multidisciplinary approach for assessing the risk of seawater intrusion in coastal aquifers: the case of the Roussillon Basin (France). In Aquifer Systems Management: Darcy's legacy in a world of impending water

shortage. Chery L and de Marsilly G (eds). AA. Balkema Publisher.

- [35] Aledo A. T, Ortiz G., Jeffrey P., Geary M., RINAUDO J-D., Loubier S., Velianovski T and Ravbar N. (2006) Socio-cultural influences on water utilization : a comparative analysis. In: Water management in arid and semi-arid regions: interdisciplinary perspectives, Koundouri, Karousakis K; Assimacopoulos D, Jeffrey P and Lange M (eds).Edward Elgar: Cheltenham; UK – Northampton, MA, USA.
- [36] RINAUDO J.D., Loubier.S. (2004) Cost-benefit analysis of large scale groundwater remediation projects: a french case study, in Cost benefit analysis and water resources management, Brouwer R. and Pearce D (eds), Edward Elgar Cheltenham (UK), Northampton (MA - USA).
- [37] RINAUDO J.D., Tahir.Z. (2003) The political economy of institutional reforms in Pakistan's irrigation sector, in: The economics of water management in developing countries, Koundouri.P., Pashardes.P., Swanson.T., Xapapadeas.A. (eds), Edward Elgar: Cheltenham (UK), Northampton (MA - USA), p. 41-57.
- [38] RINAUDO J-D., Morardet S et Lepage C (1999) Un modèle multi-agent pour analyser le partage de la ressource en eau dans les périmètres irrigués au Pakistan. In : Modèles et systèmes multi-agents pour la gestion de l'environnement et des territoires. Ferrand N (coord). Cemagref Editions, p. 293-310.
- [39] RINAUDO J-D, Thoyer S. et Strosser. P. (1997) Rent-seeking behaviour and water distribution: example from a south-eastern Punjab irrigation scheme. In: Water: Economics, Management and demand, M. Kay, T. Franks et L. Smith (eds). E&FN Spon Publishers.

6.5. Coordination d'ouvrages collectifs

- [40] Grafton Q., Daniell K.A., Nauges C., J.-D. RINAUDO, M.B. Ward et W.W. Chan (en préparation). Urban Water in Transition. Springer.
- [41] Jakeman, Barreteau O., Hunt, R. RINAUDO J-D. Ross A. (en préparation) Integrated Groundwater Management. Springer.

6.6. Articles dans des revues techniques avec comité de lecture

- [42] RINAUDO J.-D. (à paraître 2012). Prévion à long terme de la demande en eau potable. *Sciences Eaux et Territoires*.
- [43] Montginoul M., RINAUDO J.D. (à paraître 2012) « Les substituts au réseau : arbitrages des consommateurs et effets pour le gestionnaire. Réflexion à partir de l'exemple des forages privés et de la récupération des eaux pluviales ». *Sciences Eaux et Territoires*.
- [44] Barraqué, B., L. Isnard, M. Montginoul, J. D. RINAUDO, and J. Souriau. (2011). Baisse des consommations d'eau potable et développement durable. *Annales des Mines - Responsabilité & Environnement* 63: 102-108.
- [45] Hérivaux C., RINAUDO J-D, Nicolai S. et Salleron J-L (2006) Evaluer le coût de la mise en œuvre de la Directive cadre sur l'eau: éléments de méthode et application au bassin hydrographique Rhin Meuse. *La Houille Blanche*, 4 : 81-87.
- [46] RINAUDO.J.D., Garin P. (2003) Participation du public et planification de la gestion de l'eau: nouveaux enjeux et éléments de méthode. *La Houille blanche*, 3 : 107-111.
- [47] Courtecuisse. A., Davy. T., Laurans. Y., Rideau. J.P., RINAUDO.J.D., Strosser. P. (2003) Quel rôle pour l'économie dans la directive cadre sur l'eau ? Un processus, une approche, des outils, un guide. *La Houille blanche*, 3 : 65-70.
- [48] Montginoul. M., RINAUDO.J.D. (2003) Impact de la tarification sur les stratégies de consommation et d'approvisionnement en eau des ménages. *La Houille blanche*, 2 : 96-101.

6.7. Revues techniques sans comité de lecture

- [49] RINAUDO J-D et Montginoul M. (2012) Le développement des forages domestiques : un risque pour les services d'eau ? *Techni.Cités*.
- [50] RINAUDO J-D, Neverre N. et Montginoul M. (2011). Les besoins en eau potable : quel ratio de consommation par habitant ? *Techni.Cités* : pp 24-25.
- [51] RINAUDO J-D (2011) Recherche et réparation de fuites quand la ressource est limitée : une approche économique. *Techni.Cités* 221 : 16-18.

- [52] Neverre, N, RINAUDO JD et Montginoul M (2010) La tarification incitative : quel impact sur la demande en eau, l'équilibre budgétaire et l'équité ? *Revue TSM* 2010/12 : 37-43.
- [53] RINAUDO, J.-D., L. Maton, and Y. Caballero. 2010. Cost-effectiveness of a water scarcity management plan: considering long term socio-economic and climatic changes. *Options Méditerranéennes* 95 : 183-190.
- [54] RINAUDO J.-D., Caballero Y., Maton L. Salas y Media D., E. Martin, Richard A., Rollin D., Garin P., Montginoul M. (2010). Participatory foresight approaches for improving agriculture preparedness to increased water scarcity in the long term. *Options Méditerranéennes* 95 : 227-232.
- [55] RINAUDO J-D et MATON L (2009) Analyse coût-efficacité des mesures d'économie d'eau. *Revue du bassin Adour Garonne* 107 : 23-25.
- [56] RINAUDO J-D., Maton L. Caballero Y. (2008) Impact relatif du changement climatique et des tendances socio-économiques sur les équilibres offre-demande en eau : le cas de bassins versants en Languedoc Roussillon. *Revue TSM*, 3 : 21-34.

6.8. Autres contributions

La plupart des rapports de recherche que j'ai rédigés et des communications que j'ai présentées ayant ultérieurement fait l'objet d'une publication déjà référencée dans l'une des rubriques précédentes, je ne liste ci-dessous que celles qui n'ont pas d'autre statut.

- [57] Maton, L., RINAUDO, J.-D., Caballero, Y., Richard-Ferroudji, A., Rollin, D. and Garin, P. (2010). Que pensent les agriculteurs et les acteurs institutionnels des impacts du changement climatique sur l'agriculture des Pyrénées Orientales et des adaptations possibles ? Résultats d'une démarche participative. Article présenté au colloque Agir en situation d'incertitude. INRA-CIRAD, 22-24 Novembre, Montpellier.
- [58] RINAUDO J-D. (2008) Assessing the benefits of groundwater protection. A case study in the Rhine District, France. Research report, AQUAMONEY project. Accessible à : http://www.aquamoney.org/sites/download/D37_Case_study_report_Rhine_France.pdf
- [59] Aulong S. et RINAUDO Assessing the benefits of different groundwater protection levels: results and lessons learnt from a contingent valuation survey in the Upper Rhine valley aquifer, France. Paper presented at the IWRA World Water Congress, Montpellier. Accessible à : http://www.iwra.org/congress/2008/resource/authors/abs483_article.pdf
- [60] Aulong S., RINAUDO JD et Bouscasse H. (2006) Assessing the costs and benefits of groundwater quality improvement in the Upper Rhine valley quaternary aquifer (France). Bridge Case study report. Rapport BRGM/RP-55061-FR. Orléans. Accessible à www.brgm.fr
- [61] RINAUDO JD et Garin P (2003) An operational methodology to analyse conflicts over water use at the river basin level. Paper presented at the 20th ICID European Regional Conference on Consensus to Resolve Irrigation and Water Use Conflicts in the Euromediterranean Region, Montpellier, France, 17-19 September.

II. Synthèse des travaux

Les références entre crochets [x] renvoient à la liste de mes publications.
Une * indique que l'article est disponible en annexe.

1. Introduction

Mes activités de recherche scientifique et d'expertise sont caractérisées par trois spécificités que je souhaite rappeler dans cette introduction. La première est d'avoir porté sur un objet unique, l'eau au sein des bassins versants. La deuxième est d'avoir mobilisé un nombre important de terrains d'étude, en France et à l'étranger, et d'être profondément ancrée la réalité humaine et physique des terrains étudiés. Enfin, mes activités de recherche ont toujours été sous-tendues par des questions de politique publique. Ces trois spécificités sont explicitées dans les paragraphes qui suivent.

1.1. Le bassin versant comme objet d'étude

La ressource en eau a été le fil conducteur de mes travaux de recherche. Du grand périmètre irrigué à l'aquifère, j'ai systématiquement abordé cet objet à travers sa dimension spatiale, celle du bassin versant, défini comme un territoire sur lequel un ensemble d'acteurs économiques se coordonnent ou rivalisent pour exploiter des ressources en eau superficielles et souterraines. Je décris ici de manière chronologique l'évolution des questions de recherche que j'ai traitées sur différents types de bassins versants, de ma thèse qui porte sur les grands périmètres irrigués, à la période la plus récente orientée exclusivement sur la gestion des ressources en eau souterraine (ou aquifères).

De mon DEA à ma thèse, je me suis plus particulièrement intéressé aux bassins fortement anthropisés où l'enjeu principal est l'allocation d'une ressource rare via la gestion d'une grande infrastructure hydraulique. Mon principal terrain d'étude a alors été le bassin versant de l'Indus et ses périmètres irrigués au Pakistan mais j'ai aussi travaillé sur le bassin de l'Adour en France et sur ses périmètres irrigués gérés par la Compagnie d'Aménagement des Coteaux de Gascogne [20]. Dans ces bassins, la principale problématique est le partage d'une ressource limitée, souvent source de conflits, mais aussi de formes de coordination formelles ou informelles plus ou moins complexes. La compréhension de ces conflits et de ces formes de coordination est en soi un enjeu de recherche que j'ai abordé en mobilisant différents cadres théoriques relevant de la micro-économie standard [19]*, de l'économie politique [37] et de la théorie des jeux [26]*, avec quelques détours par des approches moins conventionnelles comme la modélisation multi-agents [38].

De retour en France, mes travaux portent sur le bassin versant de l'Hérault où j'analyse les conflits d'usages de l'eau, mobilisant des cadres conceptuels issus de l'économie institutionnelle mais aussi de la sociologie ([15] [17] en collaboration avec Patrice Garin) et de la modélisation des systèmes complexes [14]. Au cours de cette période, je n'aborde pas les conflits à travers une lecture économique des externalités, mais je développe plutôt une approche holistique, mettant par exemple en évidence l'existence de conflits structurés en réseaux, rendus interdépendants par les ressources et les réseaux sociaux. Le bassin versant est étudié comme un système complexe dont la dynamique est déterminée par de nombreuses interactions des usagers entre eux ou avec les différentes entités biophysiques qui le constituent. Ces travaux se prolongent par une réflexion sur l'implication des acteurs dans l'élaboration des politiques de gestion des ressources en eau dans le bassin versant. Je contribue ainsi à l'expérimentation d'outils de modélisation intégrée [14] ou de plateformes multimédias [16] et de méthodes plus classiques de consultation du public [11]*, [12].

Mon passage en Alsace de 2001 à 2004 déplace mon regard vers le compartiment souterrain des bassins versants, qui deviendra dès lors mon principal objet d'étude. Dans un contexte de ressource abondante, j'approfondis alors deux problématiques liées à la pollution des ressources en eau souterraine. La première est celle de l'évaluation de la valeur économique des ressources en eau souterraine qui se trouvent menacées par des pollutions de diverses origines. Les travaux que je conduis alors relèvent du champ de l'économie de l'environnement, ayant par exemple recours à la méthode d'évaluation du coût des dommages ou des coûts évités [10]*, puis, après 2006, de l'évaluation contingente (en collaboration avec Stéphanie Aulong). La seconde problématique porte sur la modélisation du comportement des agents économiques à l'origine de la pollution (les agriculteurs en l'occurrence) en vue de simuler l'évolution future de leurs comportements notamment en réaction à différentes politiques économiques ou environnementales [7]* [9]. Ces travaux s'inscrivent alors dans le domaine de l'économie agricole et mobilisent des outils micro-économiques (programmation mathématique) dont les fondements reposent sur l'individualisme méthodologique. Ces travaux, réalisés avec Nina Graveline, se prolongent par une réflexion relative à la manière dont prendre en compte l'incertitude lorsque l'on utilise des modèles microéconomiques pour simuler l'évolution à long terme des systèmes de production agricole et de leur impact environnemental [2]*.

Parallèlement à ce travail sur la qualité, j'entreprends d'autres travaux sur les instruments économiques appliqués à la gestion quantitative des eaux souterraines. Réalisée en collaboration avec Marielle Montginoul, cette partie de ma recherche porte sur deux grandes problématiques. La première est celle de l'utilisation de l'instrument tarifaire pour réguler les prélèvements en eau, dans des situations où les usagers peuvent s'alimenter à partir de systèmes d'approvisionnement collectifs facilement contrôlables, mais aussi de systèmes autonomes que le régulateur connaît mal [5]*. Ces travaux s'inscrivent encore dans un cadre microéconomique très standard, mobilisant des outils de modélisation économétrique ou de programmation mathématique [4]*. La seconde problématique explore d'autres instruments économiques permettant de réguler l'accès à la ressource en eau souterraine et son usage, notamment les marchés de l'eau. M'éloignant alors des approches microéconomiques, je me repositionne dans le champ de l'économie institutionnelle, abordant les questions des coûts de transaction, de la circulation de l'information et de l'acceptabilité sociale³ des mécanismes institutionnels et instruments économiques considérés. Pour évaluer les instruments économiques, je mobilise des approches non disciplinaires relevant du domaine de la prospective participative [3]*. Dans les deux cas, l'échelle d'analyse reste celle des bassins versants (ou aquifères).

1.2. Une recherche ancrée dans la réalité du terrain

Mes travaux sont systématiquement ancrés dans la réalité de terrain. Comme pour bien d'autres problématiques environnementales, la formulation de questions pertinentes dans le domaine de la gestion de l'eau nécessite une connaissance fine du système complexe composé de la ressource, de ses usagers et des acteurs qui interviennent dans la régulation de son utilisation. En schématisant, les apports du terrain à la formulation des problématiques économiques me semblent relever de quatre catégories :

1. Il s'agit tout d'abord de décrypter la nature des interactions qui relient les acteurs de ce système, qu'elles soient directes ou indirectes (externalités via la ressource). A titre d'exemple, la formalisation du système de corruption politique et administrative présentée dans ma thèse n'aurait pas été possible sans un travail de terrain très approfondi. De même, la réalisation d'analyses coûts bénéfices relatives à la protection de la nappe d'Alsace repose sur des échanges avec de très nombreux experts techniques et des

³ Je propose d'analyser l'acceptabilité sociale d'un instrument de gestion au regard de deux grands critères. Le premier est la compatibilité de cet instrument avec les pratiques, les ressources et les objectifs des usagers (analyse de l'interaction fonctionnelle entre la ressource, l'instrument de gestion et l'usager). Le second est la compatibilité de l'instrument avec les normes, valeurs et idéologies des acteurs chargés de le mettre en œuvre, notamment en lien avec les objectifs qu'il est supposé promouvoir (efficacité environnementale, équité).

acteurs locaux pour identifier l'ensemble des impacts des projets considérés, puis pour en quantifier les effets ([10]* [25]* [36]).

2. Il s'agit également de bien caractériser l'hétérogénéité des usagers et de décortiquer les ressorts des comportements individuels. C'est ainsi grâce à un travail de terrain que nous avons, avec Marielle Montginoul, fait émerger la problématique des forages individuels. C'est également par des enquêtes qualitatives que nous avons pu formaliser le processus de décision de ces ménages qui décident d'investir dans des solutions individuelles d'approvisionnement en eau. Les modèles d'exploitations agricoles développés avec Nina Graveline reposent également sur des entretiens approfondis avec les agriculteurs.

3. Par ailleurs, cet ancrage sur le terrain facilite l'accès à l'expertise et aux données produites par ces acteurs et dont l'accès est très contraint mais dont la qualité, ou l'unicité, permettent de réaliser des avancées scientifiques. Je citerai à titre d'illustration le fait que nous ayons pu accéder aux fichiers de la facturation du service d'eau potable de plusieurs agglomérations de plus de 200 000 habitants en vue d'une analyse économétrique de la demande en eau. La proximité du terrain permet aussi de développer des relations de confiance indispensables pour la mise en place de méthodologies participatives (prospective) ou expérimentales (économie expérimentale).

4. Enfin, l'analyse du jeu des acteurs, de leur formulation des enjeux de l'eau, des tensions ou des conflits qui en découlent sur un territoire aide à mieux décrypter leurs réactions face à des scénarios de régulation économique, règlementaire ou institutionnelle. Une telle analyse, qui fait appel à des approches relevant du champ de la sociologie, permet de compléter une lecture purement économique du positionnement des acteurs, quand ils se réfèrent à des valeurs, à des attachements à des territoires, des communautés de vie ou des institutions.

Cet ancrage sur le terrain n'est cependant pas qu'une posture de recherche, il nécessite un investissement scientifique et la maîtrise de diverses méthodes qui ne relèvent pas nécessairement de la science économique : entretiens semi-directifs et analyse du discours, organisation de focus groupes ou ateliers de prospective. La valorisation des « trouvailles » faites sur le terrain ne sont par ailleurs pas uniquement réalisées dans le domaine de l'économie et peuvent reposer sur la mobilisation d'outils et méthodes empruntées à d'autres disciplines. C'est ainsi que j'ai conduit (ou participé à) des travaux de modélisation multi-agents [38], de modélisation des bassins versants sous forme de systèmes complexes [14], à l'utilisation d'outils multimédia pour l'aide à la concertation [16] ou à l'analyse des conflits de l'eau sur un territoire. Ces travaux pluridisciplinaires représentent donc de fait un axe de recherche à part entière dont les principaux résultats portent sur la compréhension des jeux d'acteurs et des conflits d'usages.

1.3. Une recherche tournée vers les politiques publiques

Mon programme de recherche a été très fortement déterminé par les questions soulevées lors de l'élaboration ou de la mise en œuvre de politique publique. Les années 2000 ont en effet été très riches en termes d'évolution de la politique de l'eau, avec la promulgation de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau (DCE) en 2000, l'élaboration puis la mise en œuvre de la Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques (LEMA) en 2006 et la montée en puissance des démarches locales de gestion collective comme les SAGE. Dans ce contexte, le monde de la recherche a été largement interpellé par les décideurs publics pour répondre à des questions opérationnelles, notamment dans le domaine de l'économie. En effet, l'une des principales innovations de la DCE est de promouvoir l'utilisation de l'analyse économique dans les démarches de planification de la gestion des bassins versants. La DCE impose par exemple que les programmes d'actions mis en place fassent l'objet d'une analyse coût-efficacité. Elle demande également que les coûts environnementaux générés par les usages soient évalués et pris en compte dans les politiques de tarification. Elle impose également que soient mises en place des tarifications incitatives afin de promouvoir une utilisation efficiente des ressources en eau.

Au cours du processus de mise en œuvre de cette directive, le monde de la recherche a été interpellé de différentes manières. Des groupes de travail associant chercheurs et décideurs ont été mis en place à l'échelle européenne et dans chaque pays (groupes « miroirs »). J'ai ainsi été membre pendant plusieurs

années du groupe « économie » et du groupe « participation du public » animés par le Ministère de l'Environnement. Par ailleurs, un certain nombre d'appels d'offre de recherche ont été initiés (6^{ème} PCRD et divers Era Net) pour traiter de questions opérationnelles de recherche liées à la mise en œuvre de la directive cadre sur l'eau. Ce fut par exemple le cas des projets européens BRIDGE et AQUAMONEY dans lesquels j'ai travaillé sur l'évaluation économique des bénéfices liés à la protection des ressources en eau souterraine.

Mais cette demande sociale ne s'est pas uniquement exprimée à l'échelle nationale ou européenne. A une échelle plus locale, les Agences de l'Eau mais aussi les collectivités territoriales se sont emparées des questions relatives à l'évaluation économique de la gestion des ressources en eau. La présence du Brgm dans les 22 régions françaises permettant d'être à l'écoute de cette demande, j'ai pu mettre en place de nombreux projets de recherche sous contrat avec ces acteurs, notamment dans les bassins Rhin Meuse et Rhône Méditerranée Corse, et plus particulièrement en région Alsace et Languedoc-Roussillon.

Cette interaction avec la demande politique exprimée à diverses échelles géographiques a été la source d'une grande richesse. Elle m'a permis de développer un réseau international, tant dans le monde de la recherche académique, que dans celui des décideurs publics. Elle m'a aussi ouvert les portes de nombreux terrains d'étude auxquels il aurait probablement été plus difficile d'accéder en d'autres temps. Ces acquis restent de précieux atouts que la petite équipe de recherche que j'anime saura sans aucun doute valoriser dans les années à venir.

1.4. Quatre axes de recherche

Mes travaux s'organisent selon les quatre axes suivants :

1. Le premier axe porte sur l'analyse des conflits liés à la gestion des ressources en eau au sein des bassins versants. J'aborde d'abord cette problématique sous un angle très économique lors de mes travaux de thèse, avant de me positionner à l'interface entre l'économie et la sociologie dans les travaux que je réalise dans les bassins versants méditerranéens.
2. Le deuxième axe porte sur les instruments économiques pouvant être mobilisés pour réguler l'accès aux ressources en eau ou le niveau d'usage de ces ressources. J'aborde cette problématique à travers des démarches de modélisation des comportements individuels, des analyses plus ou moins formalisées des interactions stratégiques entre usagers et régulateur, mais aussi par l'étude des modes de gouvernance et des formes institutionnelles dans lesquelles les instruments économiques peuvent s'insérer.
3. Le troisième axe porte sur les problématiques de protection des ressources en eau contre les pollutions. Il aborde les questions relatives à l'évaluation de la valeur économique d'une ressource qui est à la fois facteur de production, bien de consommation finale et support de services écologiques non marchands.
4. Enfin, le quatrième axe est relative à la compréhension et la modélisation de l'évolution à long terme du système « ressources-usagers économiques » dans un contexte de changement global. Je l'aborde avec des approches méthodologiques variées allant du couplage de modèles économiques et biophysiques à la prospective participative.

2. Conflits et réformes des politiques de l'eau

2.1. Problématique et ancrage théorique

Les politiques et plans de gestion des ressources en eau sont susceptibles d'affecter les intérêts de différentes catégories d'usagers, de territoires et d'acteurs institutionnels, générant (ou accentuant) des désaccords, tensions ou conflits. Ces conflits peuvent porter sur les modalités du partage de la ressource en eau, sur le partage des coûts de la gestion, sur la gestion du risque d'inondation, etc. Ils opposent l'amont à l'aval des bassins ; les villes aux campagnes ; l'environnement aux usages économiques. D'un point de vue économique, ils portent sur des enjeux différents : (i) la recherche ou le maintien de rentes qui sont remises en cause par de nouvelles politiques de recouvrement du coût des infrastructures hydrauliques ou de taxation de l'usage des ressources ; (ii) le partage du coût des actions de protection ou de restauration des ressources en eau ; (iii) l'internalisation d'externalités environnementales générées par certains usages et longtemps négligées ; ou encore (iv) l'allocation de droits d'accès à (ou de priorité sur) la ressource.

Pour l'économiste qui découvre un nouveau terrain d'étude, l'identification de ces enjeux économiques n'est pas immédiate. En première approche, seuls les conflits entre acteurs sont (partiellement) visibles. La compréhension de ces conflits, qui ne sont que les manifestations symptomatiques des enjeux (économiques sociaux et politiques), est un passage obligé pour formaliser les problématiques en termes économiques. Une partie de mes travaux, dont je rends compte dans cette section du mémoire, a consisté à développer une méthodologie d'analyse et de formalisation de ces conflits. Ma contribution scientifique sur cette problématique des conflits est issue de deux principaux terrains d'étude que j'ai abordés avec des approches très différentes.

Au Pakistan, mes travaux portent sur les conflits relatifs au partage de l'eau au sein des grands périmètres irrigués. Je développe une approche économique du conflit, en m'inscrivant dans le courant de l'économie politique. Le conflit est représenté comme un jeu où les acteurs entrent en concurrence pour l'obtention de décisions politiques ou administratives favorables (Becker, 1982 ; Krueger, 1974). J'analyse les conflits à l'échelle locale, décortiquant les mécanismes qui régissent le partage de la ressource en eau ([17],[19]*,[26]*), mais aussi à l'échelle nationale, mettant en évidence les comportements de lobbying exercés pour maintenir une politique nationale garante des rentes à l'échelle locale [37].

Quelques années plus tard, j'approche les conflits d'usage de l'eau de manière radicalement différente dans les bassins méditerranéens. Je me situe à l'interface entre l'économie, la sociologie et les sciences politiques, définissant les conflits comme "une hostilité mutuelle entre des individus ou des groupes qui peut s'exprimer par des paroles ou des actions" (Yarn, 1999). Cette définition permet d'élargir le cadre d'analyse là où la pensée économique a tendance à théoriser les conflits en les réduisant à des divergences d'intérêts (Kirat et Torre, 2007). Elle détermine également la méthode d'identification et d'analyse des conflits sur le terrain. L'adoption de cette définition relativement large des conflits me permettra de découvrir et de formaliser de nouvelles questions qui seront traitées dans d'autres axes de recherche.

2.2. Conflits et réforme de la gestion les périmètres irrigués

Mon travail de thèse réalisé entre 1996 et 1999 au Pakistan a lieu dans une période d'ajustement structurel où la Banque Mondiale et le Fonds Monétaire International pressent le gouvernement de se désengager de la gestion des grands périmètres irrigués publics de la plaine de l'Indus. Un programme de réforme de la politique de l'irrigation est alors élaboré, négocié et très partiellement mis en œuvre. Cette réforme repose sur trois piliers : (i) la décentralisation de la gestion des périmètres, (ii) un désengagement de l'Etat (notamment au niveau financier) au profit d'une plus grande participation des paysans dans la gestion des canaux (formation d'associations d'usagers) et (iii) la mise en place, à différentes échelles du système

hydraulique, de marchés de l'eau qui devraient théoriquement conduire à une utilisation économiquement plus efficace des ressources en eau. Or cette réforme s'avère très rapidement être conflictuelle. Au niveau national, elle se heurte à une résistance acharnée du lobby agricole, dominé par les grands propriétaires terriens qui représentent également les principales forces politiques. Au niveau local, elle rencontre l'hostilité de l'administration gestionnaire des canaux d'irrigation mais aussi des grands propriétaires terriens dont les rentes liées à la gestion publique des périmètres semblent menacées. Les conflits qui en résultent s'expriment différemment dans l'arène politique nationale et localement au sein des périmètres irrigués. Leur étude et leur formalisation fera l'objet de ma thèse.

a) Lobbying politiques et réformes de la politique de l'eau au Pakistan

Ma première contribution a donc consisté à mettre en perspective historique les propositions de réforme de la Banque, éclairant les stratégies de protection des rentes acquises observées par le passé. Une analyse historique des politiques publiques (de 1947 à 1997) dans le secteur agricole montre l'influence considérable que le lobby des grands propriétaires fonciers a toujours réussi à exercer sur les décideurs publics pour préserver ses rentes. Le maintien de ces rentes est rendu possible par leur forte représentation dans les assemblées provinciales et fédérale et par le contrôle qu'ils exercent sur la bureaucratie à travers un système de réseaux clientélistes. Partant de ce constat, il était permis de supposer que les mêmes mécanismes pourraient entraver la mise en œuvre de la réforme promue par la Banque Mondiale à partir de 1993. Une analyse fine des événements survenus entre 1993 et 1998 a permis de montrer que le processus de décision pouvait être représenté par une double négociation survenant de manière séquentielle dans deux arènes imbriquées. A l'échelle internationale, le Gouvernement Pakistanais négocie avec les bailleurs de fonds internationaux (FMI et Banque Mondiale), acceptant les réformes demandées lorsque la situation macroéconomique place l'Etat au bord de la faillite (points 1, 3 et 5 sur la Figure 1). Une fois ces accords conclus, il négocie avec les partenaires nationaux (notamment les assemblées provinciales) pour la mise en œuvre de ces réformes, revenant occasionnellement sur ses engagements lorsque la situation macroéconomique s'améliore (points 2 et 4).

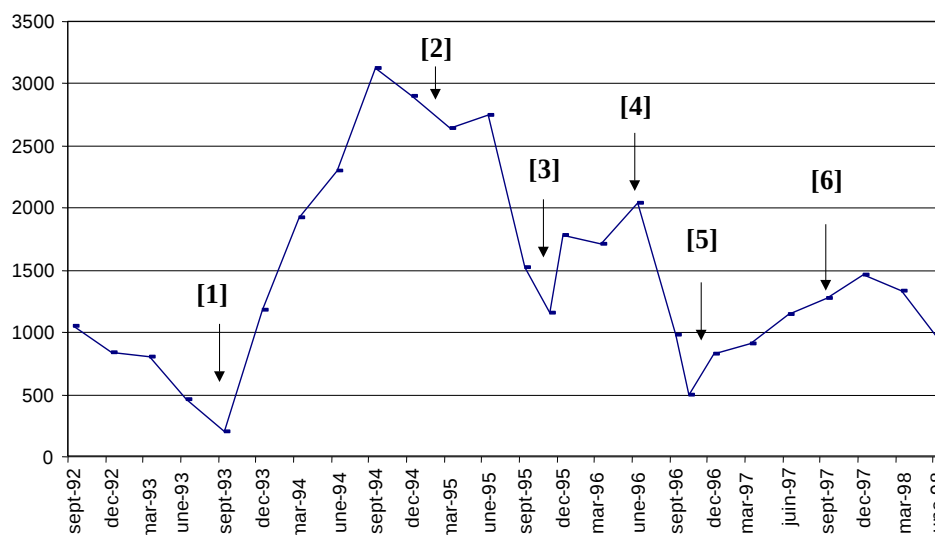


Figure 1 : Evolution des réserves en devises (millions USD) et principales décisions relatives à la réforme de la politique de gestion de l'eau.

b) Conflits locaux : une analyse du système de corruption administrative et politique

Ma seconde contribution a consisté à décrypter l'origine de l'opposition aux réformes à l'échelle locale. Je mets en évidence l'existence d'un système de corruption administrative et politique qui détermine le partage de la ressource en eau et de la rente qu'elle véhicule. La description du fonctionnement de ce système est basée sur une phase d'enquête rendue délicate par le sujet abordé, et dont le résultat donne lieu à deux publications décrivant la nature des rentes et les mécanismes d'appropriations de celles-ci ([19]*,[39]). Avec mes collègues Pierre Strosser et Sophie Thoyer, nous définissons la nature des rentes en jeu. En utilisant les résultats d'un modèle de simulation hydraulique développé par Marcel Kuper, nous réalisons une étude de cas dans laquelle nous quantifions les flux d'eau correspondant à ces rentes, puis en évaluons la valeur monétaire.

L'analyse porte ensuite sur la manière dont ces rentes sont redistribuées, soit financièrement auprès de l'administration (pots de vin), soit auprès des politiciens sous forme de soutien politique (voir Figure 2). En utilisant le formalisme des systèmes multi-agents, j'ai ensuite développé un modèle permettant de rendre compte de la dynamique de ce système de corruption [38]. Le modèle développé représente de façon stylisée le fonctionnement d'un canal d'irrigation le long duquel les agriculteurs peuvent négocier avec le gestionnaire public une augmentation (illégal) de leur quota d'eau, au détriment des agriculteurs situés en aval. La régulation du système se fait via l'intervention du politicien (membre du parlement provincial) qui peut être sollicité par les perdants pour rétablir l'ordre en menaçant le fonctionnaire de mutation (vers un poste moins lucratif...) mais aussi par les gagnants pour maintenir leur privilège, moyennant la promesse d'un soutien politique aux prochaines élections. J'ai ensuite formalisé le même modèle stylisé représentant le fonctionnement conjoint du système de corruption administrative et politique en utilisant la théorie des jeux, en collaboration avec mon directeur de thèse Jean-Paul Azam [26]*.

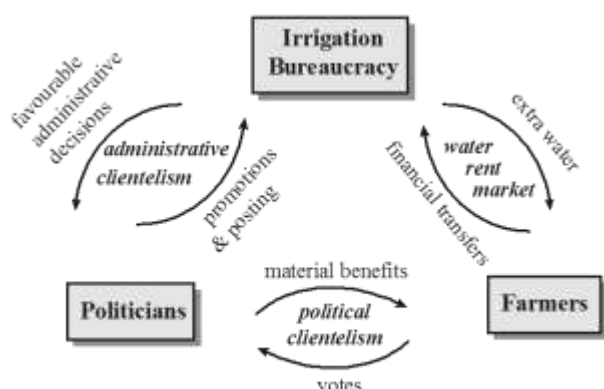


Figure 2 : Fonctionnement schématique du système de corruption administrative et politique.

Variables explicatives	Coeff.	Sign.
CARACTERISTIQUES EXPLOITATIONS		
- % exploitants capitalistes	(+)	***
- % propriétaires terriens (> 10 ha)	(-)	**
- famille historique	(+)	***
ORIGINE DE LA POPULATION		
- pop homogène orig. locale	(+)	***
OFFRE EN EAU DE CANAL		
- quota officiel	(-)	**
- distance de la tête	(-)	*
- débit distributeur (moyen)	(-)	*
EAU SOUTERRAINE		
- affleurement nappe	(-)	*

Figure 3 : Variables explicatives de la corruption (modèle Probit)

Pour valider ce dernier modèle théorique, une analyse quantitative du phénomène de corruption est entreprise à l'échelle d'un périmètre irrigué de 70 000 hectares irrigués. La principale difficulté rencontrée a été la détection des actes de corruption. Or, compte tenu du fait que chacun de ces actes a pour objet l'agrandissement d'une prise d'eau, nous avons cherché à repérer toutes les prises d'eau ayant été illégalement modifiées (Figure 4 et Figure 5). Pour cela, les dimensions réelles des 500 prises d'eau de la zone étudiée ont été mesurées puis comparées à leur dimension officielle. Les résultats montrent qu'environ 20% des prises d'eau sont modifiées de manière significative, confirmant ainsi l'importance de la corruption au sein des périmètres irrigués. Une analyse économétrique a ensuite été réalisée (Figure 3) afin d'identifier les caractéristiques des agriculteurs qui participent à ces transactions corrompues [18]*, permettant de valider le modèle théorique.



Figure 4 : Répartition spatiale des prises d'eau illégalement agrandies



Figure 5 : Prise d'eau illégalement modifiée

2.3. Conflits d'usages dans les bassins versants méditerranéens

a) Grille d'analyse des conflits

Les projets GOUVERNe et AQUADAPT, qui portent sur la concertation dans les bassins versants méditerranéens, me permettent d'aborder la question des conflits sous un angle renouvelé. Le point de départ de l'analyse est que les conflits d'usage de l'eau ne sont pas systématiquement liés à des conflits d'intérêts. Un travail de terrain conduit sur plusieurs années dans les bassins versants de l'Hérault, de la Lère et dans la plaine du Roussillon mettent en évidence plusieurs autres types de conflits (Priscoli et Wolf, 2009 ; Vlachos, 1990). Le premier est le conflit cognitif qui naît de situations où les parties prenantes ne partagent pas la même vision du fonctionnement du système ressources-usages, de sa dynamique, de ses problèmes. La controverse peut porter tant sur la nature des problèmes à résoudre que sur leur évolution future, leur origine ou l'efficacité des solutions à mettre en œuvre pour les résoudre. Ce type de controverse est fréquent dans le cas des eaux souterraines où l'invisibilité de la ressource favorise la construction de points de vue divergents sur son fonctionnement. Le deuxième est le conflit de valeur (ou idéologique) qui oppose des acteurs défendant des valeurs, normes, croyances ou visions de la société qui sont incompatibles entre elles. La question des instruments économiques de gestion de l'eau (taxes, tarification, marchés de droit) peut facilement donner naissance à de tels conflits issus d'une opposition de principe à « marchandiser » cette ressource naturelle. Le troisième type est le conflit de pouvoir qui découle de rivalités quant au rôle que les acteurs souhaitent jouer dans les processus de décision. Dans la pratique, les conflits générés par les politiques et plans de gestion de l'eau sont souvent des hydrides de conflits d'intérêts, de pouvoir et de valeurs.

La grille d'analyse des conflits que nous avons élaborée vise aussi à décrire les conflits observés dans leur dimension dynamique. Le conflit est issu d'une perturbation de l'équilibre social établi entre les parties prenantes. Cette perturbation, d'origine réglementaire, économique ou environnementale remet en question les accords antérieurs. Le conflit perdure tant que les acteurs n'ont pas réussi à réviser ces accords et mettre en place de nouvelles institutions. Au cours de cette phase transitoire, qui peut être temporaire ou durer des décennies selon la capacité d'adaptation des institutions, la rareté de l'eau (*water scarcity*) n'est un problème que si les ressources sociales sont insuffisantes pour régler le conflit – une situation qu'Ohlsson qualifie de *social scarcity* (Ohlsson, 2000). Enfin, notre grille d'analyse s'attache à montrer que les conflits sont organisés en réseaux et qu'ils rendus interdépendants par des liens hydrologiques, sociaux

ou par les démarches de planification territoriales. Les conflits liés à l'allocation de la ressource entre usages, qui nous intéressent plus particulièrement, ne peuvent donc être compris qu'à travers une analyse globale à l'échelle du bassin.

Globalement, cette grille de lecture des conflits m'a été très utile pour aborder d'autres terrains par la suite et pour y faire émerger les problématiques économiques relatives à l'allocation de la ressource. Lorsque quelques années plus tard nous décidons d'ouvrir un nouveau terrain d'étude dans le Roussillon, nous découvrons que la profession agricole refuse catégoriquement toute discussion relative à la mise en place d'une gestion quantitative des ressources en eau souterraine [8]*. Une enquête réalisée auprès de 76 agriculteurs montre que près d'un tiers d'entre eux refuse de déclarer leurs forages et que plus des deux tiers s'opposent à l'installation des compteurs pourtant obligatoires depuis 10 ans (Tableau 1). Une série d'entretiens semi-directifs avec une trentaine d'acteurs régionaux nous permet de reconstruire l'histoire des conflits entre l'Agence de l'Eau et la profession agricole sur ce territoire [34]. Il permet aussi de mettre en évidence l'existence d'un conflit cognitif reposant sur différentes représentations du fonctionnement de l'aquifère multicouche du Roussillon et différentes évaluations du risque d'intrusion de mer dans cet aquifère. Sans cette compréhension, nous n'aurions pas pu poursuivre nos travaux sur ce terrain avec la mise en place d'ateliers de prospective dans le cadre du projet AQUIMED et la réalisation de field experiments (par Marielle Montginoul) dans le cadre de la thèse de Vincent Lenouvel en 2010 et 2011.

Instrument de gestion	Taux d'acceptation
Déclaration des forages	63%
Mise en place et relevé des compteurs	29%
Taxe pigouviennne (environnementale)	8%
Taxe ambiante	0%
Quotas volumétriques individuels	49%
Marché de droits d'eau	21% (si échanges entre agriculteurs) 17% (si échanges entre agriculture et eau potable)
Adhésion à des associations de préleveurs	55%

Tableau 1 : Perception des différents instruments par les agriculteurs enquêtés

b) Outils de représentation et de mise en débat des conflits

Ces travaux sur les conflits d'usage se sont naturellement prolongés par une réflexion sur les outils et méthodes de représentation et de mise en débat de ces conflits. Il s'agissait d'une réponse à une demande sociale explicite formulée dans la directive cadre sur l'eau. Celle-ci requiert en effet que les principales problématiques de gestion soient identifiées avec les parties prenantes dès le début du processus de planification de la gestion de l'eau par bassin, puis qu'elles soient débattues avec le grand public. Quittant de domaine de l'économie, j'ai alors contribué à l'élaboration de deux outils particuliers.

Le premier de ces outils, le TIDDD (Tool to Inform Debate, Deliberation and Dialogues) mobilise les technologies multimédia pour mettre à la disposition de différents acteurs associés à une Commission Locale de l'Eau, des éléments d'information sur des scénarios de gestion de l'eau à l'échelle du bassin versant. L'outil permet d'accéder à un centre de ressources documentaires utilisant différents supports de présentation (textes illustrés, vidéos, etc.), à un module de construction de cartes et à un module d'évaluation de scénarios. L'outil ne dispose pas de capacité de calcul, il ne fait que mobiliser des résultats de simulations stockés dans une base de données et accessibles à travers une interface conviviale. Ma contribution au développement de cet outil a essentiellement consisté à définir les scénarios de gestion, à évaluer les conséquences économiques de chacun de ces scénarios (notamment en termes de prix de l'eau) et à organiser le test de l'outil avec les acteurs du bassin versant de l'Hérault. Ce test a montré que le principal défi scientifique n'est pas de concevoir un outil techniquement capable de délivrer de

l'information sous une forme structurée et conviviale mais de réunir les conditions nécessaires à une appropriation de la démarche et de l'outil par les acteurs [16].

Le second outil développé dans le cadre du projet GOUVERNe et d'activités connexes est un modèle intégré représentant le fonctionnement de la moyenne vallée de l'Hérault [14]. Développé en utilisant le logiciel Matlab Simulink, ce modèle représente les écoulements de l'eau dans les différents compartiments de l'hydrosystème, en tenant compte des règles de décision des différents acteurs qui l'utilisent (opérateur du canal de Gignac, agriculteurs, etc.). L'outil permet de simuler les modifications de flux d'eau pour différents scénarios de changement des règles de gestion. La confrontation de cet outil, développé dans un environnement scientifique, à la demande sociale exprimée dans le cadre du Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux, a conduit aux mêmes conclusions qu'avec le TIDDD. Ces conclusions soulignent la nécessité d'ouvrir un véritable chantier de recherche sur les conditions d'appropriation des modèles intégrés de bassins versants par les acteurs.

c) Réflexions sur la participation du public

Le travail de recherche sur les conflits d'usage s'est également prolongé par une réflexion sur la valeur des savoirs profanes et les méthodes à mettre en œuvre pour les mobiliser. Avec Sébastien Loubier, Patrice Garin et Annabelle Boutet, nous avons testé et comparé plusieurs méthodes de consultation du public : entretiens semi-directifs, focus groupes, sondage d'opinion. Bien que la formulation de la problématique relève plus de la sociologie que de l'économie, ce travail m'a permis de tester des méthodes de consultation (sondage, focus groups) que j'utiliserai plusieurs années plus tard lors de la réalisation d'évaluations contingentes. Les résultats ont donné lieu à plusieurs publications dont certaines sont relativement bien citées [11]*, [12][15][17][46].

3. Instruments économiques et gouvernance des eaux souterraines

3.1. Problématique et ancrage théorique

Dans de nombreuses régions du monde, le développement économique (agricole mais aussi touristique, urbain et industriel) a été permis par une exploitation intensive des ressources en eau souterraines. Ceci est particulièrement vrai dans le secteur agricole où l'accès à la ressource en eau souterraine permet des productivités techniques (performances hydrauliques), économiques (valorisation marchande) et sociales (emploi) largement supérieures à celles observées dans les périmètres irrigués (souvent publics) dépendants de ressources superficielles et contraints par des règles de fonctionnement collectif (Garrido *et al.*, 2006). L'attractivité de cette ressource a ainsi conduit à une augmentation considérable des points de prélèvements et des volumes extraits dont le rythme s'est accéléré à partir des années 1980 (Garrido *et al.*, 2006 ; Hammani *et al.*, 2009 ; Scott et Shah, 2004 ; Shah *et al.*, 2000). Cette « révolution silencieuse » (Llamas et Martinez-Santos, 2005) a souvent généré des situations de surexploitation des aquifères, se traduisant par la baisse des niveaux piézométriques et/ou des phénomènes d'intrusion d'eau de mer en zone littorale (Giordana et Montginoul, 2006).

Bien que les conséquences économiques et sociales de cette dégradation des aquifères soient déjà observables dans de nombreuses régions (EASAC, 2010 ; FAO, 2003), cette crise encore latente de l'eau souterraine ne conduit pas nécessairement à la mise en place de mécanismes de régulation permettant d'éviter la tragédie des communs décrite par Hardin (Hardin, 1968) et renommée avec justesse la « tragédie

des biens en libre accès » par d'autres après lui (Feeny *et al.*, 1990). De fait, le développement de l'utilisation des eaux souterraines a souvent eu lieu dans un contexte institutionnel qui n'impose que très peu de contraintes sur les usagers (Schlager, 2007). Il en résulte une situation de ressource en libre accès qui conduit les utilisateurs à ignorer l'existence d'externalités sur les autres usagers contemporains (Howe, 2002). Du point de vue économique, ce constat pose trois questions : (1) celle de la nécessité de réguler les prélèvements – question qui a fait l'objet de travaux de recherche depuis les années 1960 ; (2) celle de l'efficacité des instruments économiques pouvant théoriquement être mis en place pour réguler l'accès et le niveau d'exploitation des ressources naturelles ; (3) et celle des institutions à mettre en place pour garantir le fonctionnement efficace des instruments économiques, tout en minimisant les coûts de transaction et en s'assurant de l'acceptabilité des solutions retenues.

a) La question de la régulation optimale

La régulation de l'accès à la ressource en eau souterraine et celle de son exploitation a fait l'objet de travaux de recherche en économie depuis le milieu des années 1960. La problématique a d'abord été traitée sous l'angle d'un problème d'optimisation temporelle de l'allocation, dans le cadre de la théorie de l'exploitation des ressources minières (Burt, 1964 ; Burt, 1966 ; Burt, 1967 ; Burt, 1970). La question est alors abordée du point de vue d'un planificateur centralisateur qui cherche à maximiser la valeur présente d'un indicateur de bien-être collectif. Les travaux de Gisser et Sanchez renouvellent la problématique en suggérant, sur la base d'un modèle simplifié, que les bénéfices associés à la mise en place d'un contrôle optimal des prélèvements sont négligeables par rapport à une gestion sans régulation (Gisser et Sanchez, 1980). Une littérature relativement abondante se développe pour tester ce résultat avec des travaux empiriques essentiellement conduits aux Etats Unis, remettant en cause certaines des hypothèses du modèle de Gisser et Sanchez comme la forme de la fonction de demande, la linéarité de la relation entre coût de pompage et niveau de la nappe, l'homogénéité de la productivité des terres irriguées ou la stabilité temporelle des fonctions de production (Koundouri, 2004). La discussion des bénéfices associés au contrôle optimal des prélèvements est renouvelée par l'article de Burness et Martin qui prennent en compte les externalités négatives induites par le pompage des eaux souterraines sur les eaux de surface (Burness et Martin, 1988). Tsur et Graham-Tomasi complètent le cadre d'analyse en intégrant le caractère stochastique de la disponibilité des ressources de surface, mettant en évidence le rôle tampon joué par les aquifères dans les situations de sécheresse à travers un cas d'étude en Israël (Tsur et Graham-Tomasi, 1991). La prise en compte du risque de dégradation irréversible de l'aquifère suite à une surexploitation (par exemple par intrusion d'eau de mer) est un autre argument justifiant une stratégie de contrôle optimal (Tsur et Zemel, 1995 ; Tsur et Zemel, 2004). Ces diverses contributions scientifiques mettent clairement en évidence l'existence de bénéfices associés au contrôle optimal de l'exploitation des eaux souterraines, même si ces bénéfices peuvent varier d'un bassin à l'autre en fonction de ses caractéristiques économiques, hydrogéologiques et agronomiques. Cette conclusion sous-tend l'ensemble de mes travaux relatifs à la régulation de l'exploitation des eaux souterraines présentés ci-dessous.

b) La question des instruments économiques

Ayant accepté l'hypothèse qu'un contrôle optimal des prélèvements contribue à augmenter le bien-être social, la question des instruments à mettre en œuvre pour atteindre cet optimal se pose. On distingue classiquement deux catégories d'instruments : les instruments économiques dont l'objectif est de produire des signaux indiquant le niveau de rareté de la ressource, comme les taxes, tarifs, pénalités collectives ou marchés de droits d'eau ; et les instruments réglementaires (approche « command and control ») par lesquels l'autorité régulatrice impose des restrictions sur les volumes utilisés (quotas), le nombre de points d'accès à la ressource, les périodes ou durées d'utilisation de la ressource, etc. Dans le cadre mes recherches, je m'intéresse plus particulièrement à deux instruments de la première catégorie.

- Marchés de l'eau. Une approche alternative consiste à attribuer des permis d'utilisation de la ressource en eau souterraine aux usagers puis à rendre ces permis échangeables. Les permis

peuvent être des droits de propriété comme aux Etats Unis (Hanak, 2010 ; Schlager, 2006), ou des autorisations administratives par définition révocables comme en Espagne depuis la loi sur l'eau de 1985 (Garrido *et al.*, in press). Le recours au mécanisme de marché pour transférer des droits d'eau est beaucoup moins développé pour les eaux souterraines que pour les eaux de surface et il porte sur des échelles plus locales (Raffensperger *et al.*, 2009 ; Skurray *et al.*, 2011 ; Thompson *et al.*, 2009). Des marchés de droits d'eau souterraine existent depuis quelques années en Australie et plus particulièrement dans l'Etat du New South Wales (GHD, 2011 ; Skurray *et al.*, 2011) mais également aux Etats Unis (Howe, 2002 ; Kaiser et Phillips, 1998 ; Sunding, 2000).

Dans les travaux que j'ai initié sur ce thème avec mes collègues C. Hérivaux et M. Montginoul, j'étudie les difficultés de mise en œuvre des marchés de l'eau souterraine, en considérant notamment la perspective de leur potentiel développement en France. La principale difficulté identifiée dans la littérature est le manque de connaissance du fonctionnement des eaux souterraines, qui rend plus difficile la maîtrise des externalités environnementales et sur les tiers. Or ces externalités peuvent être importantes, le déplacement des prélèvements d'une partie de l'aquifère vers une autre pouvant conduire au tarissement de sources ou à l'intrusion d'eau de mer dans le cas d'un aquifère côtier. La pertinence de ce type de mécanisme d'allocation semble donc dépendant des caractéristiques hydrogéologiques de la ressource, mais aussi du contexte climatique et économique. Leur mise en œuvre suppose également une évolution significative du cadre réglementaire (e.g. loi sur l'eau de 1999 en Espagne). Elle peut aussi se heurter à une opposition sociale et politique significative qu'il convient d'étudier (Hanak, 2010). Enfin, la question des coûts de transaction associée à ce type de mécanisme doit faire l'objet de recherche, en considérant différentes formes organisations du marché (Colby, 1990). Ces questions font l'objet d'une partie de mes travaux, et seront également abordées dans le projet pour mes années à venir.

- Taxe ambiante. Constatant la difficulté rencontrée par les gestionnaires pour recenser les préleveurs et connaître les volumes qu'ils pompent dans les aquifères, certains auteurs ont suggéré de mettre en place une taxe collective, dont le montant soit indexé sur le niveau piézométrique des aquifères (Giordana *et al.*, 2006). La logique consiste à pénaliser tous les préleveurs en cas de dépassement d'un niveau minimum de la nappe. Cet instrument est inspiré de la taxe ambiante proposée pour réguler les pollutions diffuses d'origine agricole (Segerson, 1988 ; Shortle et Horan, 2001). Plus récemment, un système plus élaboré de taxe ambiante différenciée a été proposé et testé expérimentalement (Lenouvel *et al.*, 2011). L'instrument consiste à proposer aux usagers un contrat qui leur permet d'être exonérés de la taxe ambiante s'ils s'engagent à apporter au gestionnaire une information précise sur les volumes qu'ils prélèvent dans la nappe. Au-delà des difficultés relatives à sa mise en œuvre (notamment en ce qui concerne l'estimation du volume prélevé à partir d'une simple observation des niveaux de la nappe), cette approche est peu attractive car peu susceptible de conduire à une allocation efficiente, et n'encourageant pas les comportements coopératifs. L'intérêt principal de ce « scénario de gestion » me semble surtout résider dans le statut de « solution par défaut » que le gestionnaire peut brandir comme une menace crédible applicable en cas de faillite d'une gestion collective ou reposant sur le marché.

L'utilisation de ce type d'instruments fait néanmoins débat au sein de la communauté des économistes des eaux souterraines. Certains auteurs qui travaillent en pays en développement, comme Shah, affirment que leur mise en œuvre est impossible dans des pays comme l'Inde qui compte 22 millions de puits et forages. Les coûts de transaction associés aux mécanismes de contrôle et de sanction seraient disproportionnés dans des pays qui, comme l'Inde, le Pakistan ou le Bangladesh, comptent des millions de puits et forages, utilisés par une multitude de petits agriculteurs. Shah insiste également sur l'incapacité humaine, technique et financière de l'administration de ces pays à assurer ce contrôle. Le fait que la majorité des agriculteurs

dépende de l'énergie électrique pour prélever dans les nappes (à des profondeurs importantes) le conduit à suggérer que le taux de pompage dans les aquifères soit régulé via la tarification de l'électricité (Shah, 2008 ; Shah *et al.*, 2003 ; Shah *et al.*, 2000). A la lumière de mon expérience pakistanaise, ce point de vue me semble discutable ; la difficulté de mise en œuvre d'un mécanisme de contrôle et de sanction nécessaire à la régulation est probablement autant liée au risque de corruption qu'aux coûts de transaction.

Cette idée de régulation indirecte, envisagée comme solution complémentaire et non alternative à la régulation directe, fait également sens dans le contexte de pays développés où les politiques publiques, notamment agricoles, génèrent des distorsions de prix qui peuvent encourager l'utilisation d'eau souterraine. Par ailleurs, les usagers de l'eau souterraine sont aussi souvent approvisionnés par des ressources superficielles. Le niveau des prélèvements qu'ils réalisent dans les eaux souterraines dépend de la tarification de la ressource alternative qui est souvent délivrée par une infrastructure. L'effet indirect de la tarification de l'eau d'irrigation délivrée par un réseau de surface sur la consommation d'eau souterraine a ainsi été illustrée en France par (Lenouvel et Montginoul, 2010). Avec Marielle Montginoul, nous avons également étudié cette problématique dans le secteur de l'eau potable où les ménages peuvent être incités à construire des forages individuels lorsque le prix de l'eau délivrée par le réseau public augmente. Les travaux portant sur cette problématique sont présentés plus loin dans cette section.

c) La question des institutions

Dans la mouvance des travaux d'Elinor Ostrom, de nombreux auteurs ont suggéré que la surexploitation des ressources en eau souterraine pouvait être maîtrisée via l'instauration de règles de gestion collective (Lopez-Gunn, 2003 ; Schlager, 2007 ; van Steenberg, 2006). Il s'agit de promouvoir la mise en place de mécanismes d'autorégulation des prélèvements, conçus et mis en œuvre par les usagers eux-mêmes, en concertation avec l'Etat qui leur transfère une partie de ses responsabilités. En effet les autorités publiques sont souvent démunies face à la multitude des points de prélèvements dont le simple recensement est souvent problématique et elles peinent à freiner autoritairement leur multiplication, pour des questions d'équité entre ceux qui ont pu avoir accès à cette ressource par le passé et ceux à qui ce droit est refusé. Mais cette « autorégulation » suppose le passage d'une logique basée sur la coercition et la sanction à une logique d'incitation, de négociation collective et d'auto gouvernance (Lopez-Gunn et Cortina, 2006). L'enjeu consiste alors à instaurer des organisations semi-autonomes, ayant la capacité interne d'organiser le partage de la ressource, en tenant compte des spécificités locales tout en s'inscrivant dans un cadre défini par des autorités extérieures.

En Europe, plusieurs pays ont posé les bases juridiques permettant l'émergence d'une telle gestion collective des ressources en eau souterraine. L'Espagne a ainsi rendu obligatoire la création d'associations d'usagers des eaux souterraines pour tous les aquifères caractérisés par une situation de surexploitation. Certains Etats Nord-américains ont également réalisé ce choix (Schlager, 2007). La France s'inscrit dans cette même perspective avec la création d'organismes uniques d'irrigation qui seront titulaires d'autorisations collectives de prélèvement pour le compte de leurs membres (Lafitte *et al.*, 2008).

Sur la base d'études de cas locales, plusieurs facteurs expliquant le succès ou les difficultés de mise en place et de fonctionnement de telles organisations semi-autonomes ont été mis en évidence (Lopez-Gunn, 2003 ; Lopez-Gunn et Cortina, 2006 ; Schlager, 2006 ; Schlager, 2007 ; Schlager et Lopez-Gunn, 2008 ; van Steenberg, 2006). Toutes ces études soulignent le rôle clef joué par le cadre institutionnel régissant la relation entre l'organisation semi-autonome (association d'usagers) et l'Etat. En revanche, elles n'accordent que peu d'attention aux mécanismes incitatifs à utiliser pour encadrer la double relation de principal agent, entre l'Etat et l'association d'une part, et entre l'association et ses membres d'autre part. L'un des enjeux de la recherche dans le domaine consiste donc à analyser comment intégrer les instruments économiques dans un schéma de gestion décentralisée de la gestion de l'eau souterraine ; cette intégration ne devant pas se faire de manière uniforme mais s'adapter aux spécificités de chaque situation locale et notamment aux normes sociales en usage (Ostrom, 1990 ; Ostrom, 2000 ; Ostrom et Gardner, 1993), aux critères de justice

partagés (Garin et Loubier, 2007 ; Syme *et al.*, 1999), aux caractéristiques hydrogéologiques de la ressource, à la structure des prélèvements ou au niveau d'asymétrie d'information existant entre régulateur et préleveurs (Theesfeld, 2008). Une partie de mes travaux futurs portera sur cette question.

d) Applications

J'ai traité les problématiques précédemment décrites à travers des applications à deux contextes différents. La première application porte sur les instruments de régulation des prélèvements, avec une application au secteur agricole en région méditerranéenne ; la seconde application porte sur la régulation de l'accès à la ressource, avec une application aux forages domestiques en zone périurbaine. Les méthodologies mises en œuvre, les terrains d'étude et les résultats de ces travaux sont maintenant présentés.

3.2. Régulation des prélèvements en eau souterraine : le cas des forages agricoles

a) Contexte et problématique

Bien que la loi sur l'eau de 1992 ait renforcé les dispositions réglementaires visant à contrôler les prélèvements en eau, notamment dans les zones considérées comme déficitaires (Zones dites de Répartition des Eaux), de très nombreux forages agricoles ne sont pas déclarés. Ce constat s'appuie sur les travaux de terrain que j'ai réalisés dans les bassins versants des départements de l'Hérault ([15],[17]) et des Pyrénées Orientales ([8]*,[34]). Il fait écho à d'autres témoignages en France mais aussi en Espagne (de Stefano et Lopez-Gunn, 2012 ; Fornés *et al.*, 2005). La ressource en eau souterraine est donc encore gérée comme une ressource en accès libre dans ces territoires.

En France, les réformes introduites par la loi sur l'eau et les milieux aquatiques de 2006 changent radicalement le contexte. La loi impose en effet que soit déterminé, dans chaque bassin déficitaire, un volume prélevable défini de manière à garantir le respect de contraintes environnementales (débit minimum dans les cours d'eau ou niveau piézométrique minimum). Ce volume prélevable doit être partagé entre les principaux secteurs utilisateurs de la ressource (agriculture, industrie, eau potable). Dans chaque bassin, un « organisme unique » doit être constitué pour assurer la répartition du quota d'eau agricole entre les agriculteurs. La manière dont cette répartition doit être effectuée n'est pas précisée par la loi, ce qui ouvre un certain nombre de perspectives pour la recherche.

La première de ces perspectives consiste à créer des quotas individuels qui puissent être échangés entre les agriculteurs membres de l'organisme unique, une fois l'allocation initiale réalisée. Cette réflexion renoue avec celle initiée il y a plus de 10 ans par le Commissariat au Plan et le Cemagref (Kosciusko-Morizet *et al.*, 1998 ; Strosser et Montginoul, 2001). La deuxième perspective est relative à l'utilisation d'une taxe ambiante différenciée, telle que décrite précédemment (Lenouvel *et al.*, 2011). Enfin, la troisième perspective ouverte par la loi consiste à explorer la piste de l'autorégulation, qui consiste à confier à des organisations semi-autonomes (les organismes uniques) l'établissement et la mise en œuvre des règles de partage de la ressource, l'Etat n'intervenant alors plus que pour vérifier le niveau d'effort global consenti par le groupe (Lopez-Gunn et Cortina, 2006).

Du point de vue des acteurs, chacune de ces trois perspectives représente une réforme majeure car remettant en cause les principes, valeurs et idéologie qui sous-tendent la gestion de l'eau actuelle. Quelle que soit la voie choisie, une telle (r)évolution ne peut avoir lieu sans que les acteurs concernés soient associés à la construction des règles de gestion qui en préciseront les modalités d'application. La pertinence technique économique et sociale mais aussi l'acceptabilité et l'équité en dépendent. En effet, bien que certains de ces modèles de gestion soient inspirés d'expériences réelles en Espagne, en Australie ou aux USA, leur mise en œuvre opérationnelle dans le contexte français requiert une adaptation et des ajustements qui ne peuvent se faire qu'avec les acteurs. Ces adaptations seront d'autant mieux acceptées

qu'elles auront été élaborées par les acteurs chargés de les mettre en œuvre (Ostrom, 1992). Par ailleurs, la mise en place de comportements coopératifs est susceptible d'être facilitée par des phases de discussion des règles de gestion, un phénomène largement décrit dans la théorie des interactions sociales (Becker, 1974). Cet effet a été remis en évidence par une approche expérimentale qui montre que le fait de communiquer permet aux différentes personnes participant à une expérience (et notamment celles qui seraient en position de force dans la négociation) d'accepter des propositions plus équitables que les propositions théoriquement optimales au niveau individuel (Ben-Ner et Putterman, 2009).

Dans ce contexte, mes travaux ont principalement consisté à mettre au point une méthode de prospective participative visant à explorer avec les acteurs de l'eau les modalités de mise en œuvre de ces trois scénarios de gestion dans le contexte français. Cette méthode a été appliquée dans le département des Pyrénées Orientales en France et dans la région de l'Algarve au Portugal. Les paragraphes suivants rendent compte de cette expérience, réalisée dans le cadre du projet européen AQUIMED, en collaboration avec M. Varanda et S. Bento (Université de Lisbonne) et M. Montginoul. Ils sont également présentés dans [23] et [3]*.

b) Méthodologie

La méthodologie mise en œuvre est inspirée d'une littérature émergente sur l'utilisation des méthodes de prospective participative pour l'élaboration de stratégies de gestion de l'eau (Hatzilacou *et al.*, 2007 ; van der Helm, 2003). Elle consiste à organiser des ateliers de prospective au cours desquels plusieurs scénarios de gestion des eaux souterraines sont mis en débat avec des groupes d'acteurs institutionnels, d'une part, et des groupes d'agriculteurs d'autre part. Pour pouvoir considérer des ruptures majeures, les scénarios portent sur un horizon temporel éloigné (2030 à 2050). Ils décrivent à la fois une représentation de la situation finale et des principales étapes du chemin parcouru pour y arriver.

Compte tenu des réticences exprimées par les participants vis-à-vis de tout changement de la politique de l'eau dans les deux sites d'étude (voir [8]*), nous avons adopté une approche progressive consistant à aborder la question de la gestion de l'eau après un détour par l'économie puis le changement climatique [22]. Trois ateliers successifs ont été organisés avec chaque groupe : le premier visait à explorer l'évolution des systèmes de production agricole à l'horizon 2030, en analysant plus particulièrement les changements économiques susceptibles de faire évoluer les exploitations et les filières agricoles [1]. Le deuxième atelier visait à aborder la question du changement climatique et celle de son impact sur les exploitations agricoles [28]. Ce détour par le changement climatique permettait d'introduire l'hypothèse d'une plus grande rareté de l'eau indispensable à la discussion des scénarios de gestion (notamment celui relatif aux marchés de l'eau). Enfin, le troisième atelier portait sur les trois scénarios de gestion de l'eau tels que décrits ci-dessus (pénalité collective, marchés de l'eau et autorégulation).

Au total, 20 ateliers de prospective ont été réalisés dans chacun des cas d'étude en France et au Portugal. Ils sont précédés par une vingtaine d'entretiens avec des agriculteurs (dans chaque terrain). Les résultats obtenus sont maintenant brièvement présentés.

c) Résultats

Trois types de résultats peuvent être dégagés de cette expérience : des enseignements méthodologiques concernant la méthode de prospective participative ; des enseignements concernant le processus d'apprentissage social permis par ce type de démarche ; et des enseignements concernant l'acceptabilité des instruments économiques proposés et les modalités de mise en œuvre. Nous nous concentrons ici sur ce troisième type de résultats, les autres étant décrits dans [3]* et [22].

Les ateliers permettent tout d'abord de faire émerger et de débattre des croyances et préférences des participants pour les différents scénarios. A titre d'illustration, la Figure 6 résume le résultat d'un vote dans lequel les participants ont hiérarchisé les scénarios selon un axe de probabilité d'occurrence et un axe de préférence. Les coordonnées de chaque point représente le pourcentage de personnes ayant jugé le

scénario probable (axe X) ou souhaitable (axe Y). Dans le cas français, le scénario C de « gestion décentralisée et autorégulation » émerge comme étant à la fois le plus probable et celui que les acteurs appellent de leurs vœux. Le travail de critique et de déconstruction des scénarios mis en débat fait ensuite émerger des points qui font consensus.

Les acteurs s'accordent ainsi sur le fait que les progrès technologiques (compteur à télé relève, télédétection,) permettront à très court terme aux gestionnaires de connaître précisément les forages et les volumes prélevés. Ils rejettent unanimement le principe d'une justice interne à l'association d'usagers telle que proposée dans le scénario « autorégulation » insistant sur la nécessité de maintenir une séparation des pouvoirs. De même, s'ils ne contestent pas le besoin d'un système de sanction, ils rejettent le principe de la sanction collective incompatible avec leurs critères d'équité. La discussion relative aux marchés de l'eau met en évidence un clivage important entre les acteurs qui s'opposent au principe même de la marchandisation de l'eau pour des raisons éthiques et idéologiques, et ceux qui, bien que méfiants par

principe, sont prêts à évaluer cet instrument. Ces derniers mettent d'abord en évidence les risques de défaillance de l'instrument, rejoignant d'ailleurs ceux identifiés dans la littérature scientifique : impacts environnementaux, économiques et sociaux pour les groupes et territoires vendeurs de droits, risque de spéculation, etc. Cependant, le registre « exploratoire » dans lequel s'inscrit la réflexion permet à ces participants de réfléchir aux solutions pouvant être mises en place pour réduire ces risques. Et à l'issue des ateliers, certains d'entre eux considèrent que des échanges marchands seraient acceptables sous la double condition qu'ils se déroulent sous la supervision d'une association d'usagers et qu'il s'agisse de location (et non de vente définitive), le droit d'eau restant attaché à la terre. Ce qui pose clairement la question du niveau et du type de contrôle à mettre en place pour que les mécanismes de marchés soient socialement acceptables. Cette question sera le fil rouge de la suite de mes travaux sur ce thème.

3.3. Régulation de l'accès à l'eau souterraine : le cas des forages domestiques

Mes travaux sur les conflits d'usage dans les bassins méditerranéens avaient mis en évidence l'émergence d'un phénomène relativement nouveau : le développement des forages domestiques. On constate en effet qu'un nombre croissant de ménages français résidant en maison individuelle investissent dans la construction d'un forage afin de disposer d'un accès direct à l'eau souterraine. Cet accès leur permet de substituer une eau brute peu coûteuse à l'eau potable du réseau, permettant à la fois de réduire le coût total de l'approvisionnement en eau tout en augmentant le niveau de consommation et le confort associé.

Ces forages n'étant que rarement déclarés, leur nombre est mal connu et leur gestion impossible. Or, leur importance numérique représente un enjeu de gestion, tant pour les gestionnaires de la ressource en eau souterraine que pour les services d'eau potable et d'assainissement. Du point de vue de la gestion des ressources, les prélèvements réalisés peuvent entrer en concurrence avec la production d'eau potable ; et les forages, souvent mal réalisés, représentent autant de vecteurs de pollution des eaux souterraines. Du point de vue de la gestion du service, le développement des forages rend difficile toute prévision des besoins en eau futurs et le dimensionnement des équipements à réaliser ; et ils génèrent un problème de couverture des coûts pour le service d'assainissement (voir [5]* pour plus de détails).

La principale contribution de mes travaux sur ce thème (réalisés avec M. Montginoul) a consisté à développer un modèle microéconomique représentant le choix d'investissement des ménages, à l'appliquer

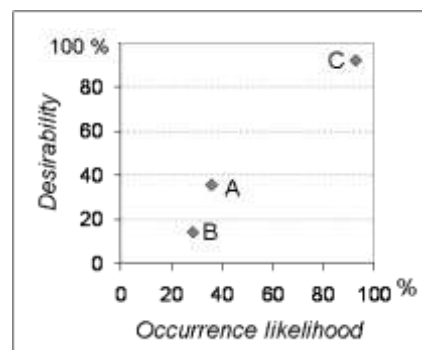


Figure 6 : Hiérarchisation des scénarios selon deux axes (France).
A= taxe ambiante ; B= marchés de l'eau ; C= gestion collective.

à l'échelle régionale puis à l'utiliser en simulation pour évaluer l'impact de différents scénarios économiques sur l'évolution du nombre de forages. Le modèle micro-économique suppose que le ménage investit dans un forage si l'économie E_{annuel} qu'il réalise sur sa facture d'eau est supérieure au coût moyen annualisé du forage (investissement et fonctionnement) noté C_{annuel} . Ce coût dépend de la profondeur H à laquelle l'eau est pompée, du coût de forage c (en € par mètre linéaire), de la durée de vie T du forage et du taux d'actualisation mais aussi du coût de pompage p_g et du volume Q pompé dans la nappe. L'économie sur la facture d'eau E_{annuel} dépend du prix de l'eau potable p_d et du volume Q pompé dans la nappe (et donc substitué à l'eau potable).

$$C_{\text{annuel}} = cH \times \frac{a(1+a)^T}{(1+a)^T - 1} + p_g Q \quad (1)$$

$$E_{\text{annuel}} = Q \cdot p_d \quad (2)$$

On calcule ensuite le niveau de consommation minimal (Q_{min}) à partir duquel l'investissement est rentable, donc tel que $E_{\text{annuel}} = C_{\text{annuel}}$.

$$Q_{\text{min}} = \frac{c \cdot H}{(p_d - p_g)} \times \frac{a(1+a)^T}{(1+a)^T - 1} \quad (3)$$

Le modèle est complété pour tenir compte de l'incertitude relative à la profondeur de l'eau ($H \pm \sigma$), à l'existence fréquente de plusieurs couches aquifères accessibles aux profondeurs H_1 et H_2 , avec une probabilité π_1 et π_2 et du risque de ne pas trouver d'eau du tout. Il en résulte une nouvelle expression du volume de rentabilité des forages qui s'exprime en fonction de ces paramètres :

$$Q_{\text{min}} = \frac{\pi_1 c_1 (\bar{H}_1 + \Phi \sigma_1) - \frac{c_2}{2} (\bar{H}_2 + \Phi \sigma_2) (\pi_1 - \pi_2 + \pi_1 \pi_2 - 1)}{(p_d - p_g) (\pi_1 + \pi_2 - \pi_1 \pi_2)} \times \frac{a(1+a)^T}{(1+a)^T - 1} \quad (4)$$

Le modèle est calé sur une commune où nous connaissons le nombre de forages en ajustant le coefficient d'aversion au risque ϕ . Le modèle est ensuite appliqué à l'échelle régionale, en mobilisant des données de prix (p_d , p_g , c) et les données géologiques (H , π , σ). Pour chaque commune, on estime ainsi Q_{min} . Puis connaissant la fonction de distribution des consommations dans les communes, on en déduit le nombre de ménages équipés (Figure 7). Le modèle est ensuite utilisé en simulation pour évaluer l'impact de différents scénarios de tarification sur le nombre de forages (Figure 8).

La validation du modèle est ensuite réalisée indirectement. Ne disposant pas de données fiables sur le nombre de forages domestiques, nous avons analysé la relation statistique existant entre le niveau moyen de consommation d'eau potable d'une part, et la facilité d'accès à la ressource en eau souterraine, d'autre part. Cette analyse a d'abord été réalisée sur un échantillon de 160 communes dans l'Hérault (voir Tableau 2 et [4]*) puis sur un échantillon de 72 quartiers de l'agglomération de Perpignan (Tableau 3). Les résultats des modèles économétriques estimés à ces deux échelles confirment que la consommation d'eau potable est positivement corrélée au coût de construction d'un forage individuel : plus le coût du forage augmente, moins la substitution a lieu et plus la consommation d'eau potable augmente.

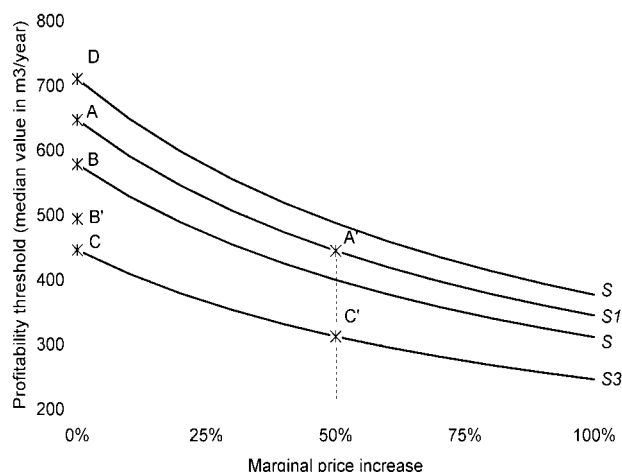


Figure 7 : Evolution moyenne du seuil de rentabilité d'un forage individuel pour différents scénarios de tarification de l'eau potable. Valeurs moyennes agrégées sur 160 communes dans le département de l'Hérault.

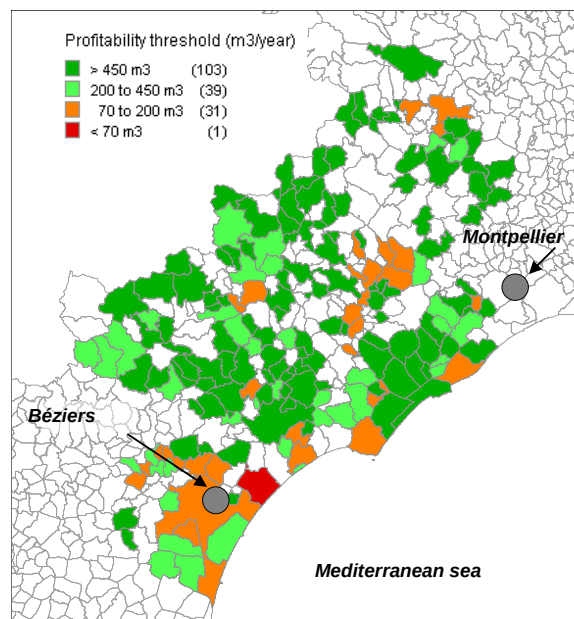


Figure 8 : Estimation du % de ménages équipés d'un forage individuel réalisé. Département de l'Hérault.

Variable	Coefficients
Log PRIX_MARGINAL	-0.18 ***
Log (REVENU)	0.42 ***
COUT_FORAGE	0.00002 ***
NB_JOURS_T>28°C	0.12 ***
NB_JOURS_SECS	0.009 ***
RESIDENCES_SECONDAIRES	0.4 ***
% MAISONS INDIV.	-0.45 ***
Constante	0.4

*** : significant at 99% confidence level.

Tableau 2 : Résultats d'une analyse économétrique en coupe de la consommation en eau potable dans le département de l'Hérault (140 communes de l'Hérault).

Variable	Coefficients
Log PRIX_MARGINAL	-1.2 ***
Log (REVENU)	+1.6 ***
LOG(COUT_FORAGE)	+0.1 ***
AUGM_PRIX %	-1.4 ***
% PETITES MAISONS	-0.4 **
% GDES MAISONS	+0.5 **
% SURF ARBRES	-0.8 ***
Constante	11

*** : significant at 99% confidence level. ** at 95%

Tableau 3 : Résultats d'une analyse économétrique en coupe de la consommation en eau potable (72 quartiers résidentiels de l'Agglomération de Perpignan)

Ces résultats apportent également un éclairage intéressant sur l'élasticité prix qui est de -0.2 lorsqu'elle est estimée sur la consommation moyenne par habitant à l'échelle communale mais inférieure à -1 lorsqu'elle est estimée sur un échantillon de quartiers strictement composés de maisons individuelles avec jardin, c'est-à-dire de ménages qui disposent d'une véritable marge de manœuvre pour ajuster leur consommation au niveau de prix. On illustre ici le fait que les élasticité prix de l'eau estimées économétriquement sont contingentes à d'autres facteurs.

4. Evaluation économique des politiques de protection des eaux souterraines

4.1. Contexte, problématique et ancrage théorique

a) Contexte et problématiques

Les eaux souterraines ont depuis longtemps été exposées à de multiples sources de pollution diffuse ou ponctuelle, d'origine industrielle ou agricole. En Europe, leur qualité s'est lentement dégradée sans pour autant provoquer la mise en œuvre d'une politique globale et cohérente de protection. Cela s'explique à la fois par le caractère invisible de la ressource et par la grande inertie avec laquelle sa qualité évolue. La législation s'est longtemps contentée d'imposer des normes de qualité sur les usages de l'eau (ex. directive eau potable) ou des objectifs de moyens en matière de réduction de la pollution (ex. directive nitrates). En 2000, la Directive Cadre Européenne sur l'Eau (DCE) change totalement la philosophie en imposant une obligation de résultat (Quevauviller, 2008). Les Etats Membres doivent dès lors restaurer le bon état chimique et écologique de toutes leurs masses d'eau pour 2027 au plus tard. Des dérogations sont éventuellement possibles lorsque l'Etat peut justifier que le coût de restauration du bon état est disproportionné par rapport aux bénéfices. Cette disposition de la DCE donne ainsi une place importante à l'analyse économique comme élément d'aide à la décision. Cependant, le monde de l'eau européen et français en particulier n'est pas équipé pour mettre en œuvre cette analyse économique notamment en ce qui concerne les eaux souterraines. Les décideurs publics manquent de références théoriques et méthodologiques, d'études de cas et de savoir-faire. C'est dans ce contexte que j'ai développé un nouvel axe de recherche en abordant la problématique sous deux angles différents.

Tout d'abord par la méthode d'évaluation des dommages évités. Dans la lignée de travaux réalisés aux USA dans les années 1990 (Abdalla, 1994), il s'agissait de mettre en évidence la diversité des coûts associés à la pollution des eaux souterraines et de les quantifier si possible. Deux études de cas menées en Alsace sont présentées ci-dessous pour illustrer les résultats obtenus [10]*. Ces travaux se sont prolongés par une première évaluation de la méthode d'évaluation contingente (MEC), réalisée avec Stéphanie Aulong. Il s'agissait d'évaluer le consentement à payer (CAP) pour réduire le niveau de contamination de la nappe par les solvants chlorés. A la différence des travaux conduits antérieurement sur cette problématique en France (Rozan *et al.*, 1997 ; Stenger et Willinger, 1998), nos travaux visent à évaluer les bénéfices associés à plusieurs niveaux d'amélioration de la qualité de la nappe et pas à évaluer sa valeur totale. Les bénéfices ainsi estimés sont ensuite comparés au coût des mesures techniques nécessaires pour les générer.

Le second angle choisi a été celui de la caractérisation des services rendus par les eaux souterraines (Bergstrom *et al.*, 1996). Ces services ont d'abord été caractérisés sur la base d'avis d'experts, avant de vérifier si le grand public était en mesure d'en percevoir la valeur. L'objectif était de vérifier si les méthodes des préférences révélées pouvaient être utilisées dans le contexte français pour évaluer les bénéfices liés à la protection des eaux souterraines. Les deux applications de la méthode d'évaluation contingente (MEC) mettent en évidence ses limites dans le contexte qui nous intéresse.

b) Ancrage théorique

Dans les années 1990, une littérature relativement abondante s'est intéressée à l'évaluation économique des bénéfices associés à la protection (ou la décontamination) des eaux souterraines. Cette littérature, essentiellement d'origine nord-américaine, présente surtout des travaux basés sur l'utilisation de la MEC, à l'exception de quelques applications de la méthode des prix hédoniques (Toell *et al.*, 1990) ou des coûts évités (Abdalla, 1994). A la suite de la première étude réalisée par Edwards (Edwards, 1988), la plupart des évaluations contingentes sur les eaux souterraines évaluent un scénario d'amélioration de la qualité de

l'eau pour un usage de consommation humaine (Jordan et Elnagheeb, 1993). En parallèle, quelques autres études évaluent l'amélioration de la qualité des eaux souterraines en intégrant les valeurs d'usage et de non usage (Lazo *et al.*, 1992), voire en estimant la part respective de chacune. En dehors des USA, les évaluations contingentes sur les eaux souterraines sont plus récentes (El Chami *et al.*, 2009 ; Press et Söderqvist, 1998 ; Rozan *et al.*, 1997 ; Stenger et Willinger, 1998 ; Tentes et Damigos, 2012 ; Wei *et al.*, 2007) et ne sont pas toujours publiées dans des revues scientifiques (Aulong et Rinaudo, 2008 ; Brouwer *et al.*, 2006. ; Chegrani, 2009 ; Miraldo Ordens *et al.*, 2006 ; Pakalniete *et al.*, 2006 ; Rinaudo, 2008 ; Strosser et Bouscasse, 2006).

L'utilisation de la MEC pour évaluer les eaux souterraines se heurte à plusieurs difficultés spécifiques à l'objet d'étude. La première est liée à l'invisibilité du bien évalué et sa possible méconnaissance par les personnes interrogées, tant concernant son fonctionnement que son extension géographique, la nature des services rendus ou l'existence de substituts. Il est certes possible d'apporter de l'information sur la ressource lors de l'enquête (Blomquist et Whitehead, 1998), mais on place alors les personnes interrogées en situation de construction de préférence avec un risque d'instabilité du consentement à payer déclaré (Slovic, 1995). On se situe alors clairement à la limite des conditions d'utilisation de la méthode même si certains auteurs suggèrent que son utilisation reste pertinente à condition de construire le questionnaire sur la base d'une pré-enquête cognitive (Lazo *et al.*, 1992).

La seconde difficulté est liée à la nature des bénéfices évalués. Dans les études américaines ou dans celle de Press et Söderqvist (1998), le CAP des populations s'explique principalement par le fait que leur alimentation en eau potable en dépend. Or, dans le cadre de la DCE, les Etats Membres doivent évaluer toutes les ressources y compris celles qui ne sont pas utilisées pour la production d'eau potable mais qui contribuent au bon fonctionnement des écosystèmes. La nature du bien évalué est alors très différente d'autant qu'il est le plus souvent difficile de quantifier les processus biophysiques avec précision. Les travaux que je vais maintenant présenter traitent de ces enjeux de recherche relatifs à la méthode d'évaluation contingente.

4.1. Evaluation des dommages évités

a) Des modèles hydrogéologiques pour estimer les coûts directs

Evaluer les bénéfices liés à un programme de protection ou de restauration de la qualité des eaux souterraines suppose d'être capable d'en simuler l'impact de manière relativement précise, tant d'un point de vue spatial que temporel. Pour cela, l'économiste a besoin d'outils de simulation permettant de reproduire le fonctionnement des aquifères. Deux des études que j'ai réalisées illustrent l'intérêt de combiner outils de modélisation hydrogéologique et méthodes d'évaluation économique.

La première étude, publiée sous forme d'un chapitre d'ouvrage coédité par David Pearce [36], porte sur un cas de pollution d'origine minière. Un modèle hydrodynamique est utilisé pour simuler l'évolution des panaches de pollution dans la nappe avec deux scénarios de décontamination. Les usages concernés par la pollution sont identifiés et les coûts liés à la pollution qu'ils supportent dans les deux scénarios sont quantifiés et comparés.

La seconde étude ([10]* [27]) porte sur un problème de pollution diffuse d'origine agricole (nitrates et pesticides). Une analyse rétrospective est d'abord réalisée en vue de quantifier les coûts générés par la pollution entre 1988 et 2002 (15 ans). Les investissements rendus nécessaires (déplacement de captage, interconnexion, usine de traitement) sont estimés. Une enquête réalisée auprès d'un échantillon d'entreprises agroalimentaires souligne l'importance d'autres coûts plus difficiles à évaluer. Certaines entreprises ont en effet déjà investi dans des stations de traitement de l'eau. D'autres voient leurs primes d'assurance augmenter considérablement car le risque d'interruption de l'activité suite à une pollution accidentelle est jugé très élevé par les compagnies d'assurances. Les entreprises estiment également que le

coût le plus important en cas de contamination accidentelle de leur ressource serait la perte d'image de marque dont la valeur se chiffre en millions d'euros. Cette approche rétrospective est ensuite complétée par l'évaluation de scénarios prospectifs. En utilisant des méthodes géostatistiques, nous projetons les tendances d'évolution de la qualité observée au cours des dernières années afin de construire une représentation plausible de la qualité de la nappe 15 ans plus tard. Les enjeux concernés par les zones nouvellement polluées sont ensuite identifiées et le coût des dommages futurs estimés.

b) Utilisation de la MEC pour évaluer l'ensemble des coûts évités

Toujours en Alsace, j'ai initié une troisième étude de cas pour tester la méthode d'évaluation contingente. Réalisée dans le cadre du projet européen BRIDGE, l'objectif principal était de vérifier la capacité du public à évaluer des scénarios plus ou moins ambitieux de restauration de la qualité de l'eau souterraine. Une évaluation contingente a donc été mise en place en collaboration avec Roy Brouwer de l'Université Libre d'Amsterdam. Après un test en face à face (140 entretiens), le questionnaire a été envoyé par voie postale à 5000 ménages. Deux scénarios de protection étaient présentés aux personnes interrogées : le premier proposait de réduire les concentrations en polluants d'origine anthropique (notamment les solvants chlorés aux propriétés cancérigènes) de façon à ce que l'eau redevienne potable dans toute la nappe (la potabilité n'excluant pas la présence de traces de polluants dans des quantités jugées non dangereuses pour la santé). Le second scénario proposait d'éliminer toute trace de pollution par une action de protection plus ambitieuse. Les résultats confirment que les ménages attribuent une valeur à la suppression des traces de pollution même si le premier scénario garantit théoriquement l'absence d'impact sur la santé. Le CAP des ménages est en effet largement supérieur pour le second scénario (76€ par an et par ménage contre 42€). De façon plus surprenante, nous montrons également que les CAP des usagers de la ressource et des non usagers (i.e. dont l'approvisionnement en eau potable ne dépend pas de la nappe) ne sont pas significativement différents.

Le résultat des modèles économétriques (Tobit) est utilisé pour extrapoler la valeur du CAP de l'échantillon au reste de la population et estimer le bénéfice total du programme de protection. Le bénéfice agrégé est ainsi comparé au coût des mesures nécessaires pour atteindre les deux niveaux de qualité. L'analyse coûts-bénéfices (ACB) conduit à conclure que la restauration de la potabilité de l'eau est préférable au scénario consistant à supprimer toute trace de pollution dans l'aquifère. Ce travail, qui, par manque de temps, avait simplement fait l'objet d'un rapport d'étude et d'une communication à congrès, est actuellement en cours de publication [25]*. Il soulève un certain nombre de questions non résolues notamment relatives à la méthode d'agrégation des bénéfices (qui sont les personnes concernées par une nappe ?) qui restent assez peu abordées dans la littérature (Bateman *et al.*, 2006 ; Bateman *et al.*, 2000). Ce travail est en cours de publication (voir [25]*).

4.2. Services rendus par les eaux souterraines

a) Caractérisation des services rendus par les eaux souterraines

L'un des principaux risques de mauvaise utilisation de l'ACB consiste à ne prendre en compte que les bénéfices liés aux usages directs de la ressource – i.e. l'approche présentée ci-dessus. Or, les bénéfices générés par la protection des ressources en eau sont multiples (Bergstrom *et al.*, 1996 ; Howe, 2002). Les eaux souterraines jouent le rôle d'infrastructures ayant de multiples fonctions : une fonction de stockage, largement utilisée dans l'Ouest des USA (Blomquist *et al.*, 2004) qui rend un service d'assurance contre le risque de sécheresse (Tsur et Graham-Tomasi, 1991) ; une fonction de distribution de l'eau sur le territoire, la présence de l'aquifère évitant de construire des réseaux de canaux ou tuyaux (Howe, 2002) ; une fonction de traitement de l'eau (via son passage dans le sol) ; une fonction écologique de réalimentation des cours d'eau et zones humides, notamment en étiage ; une fonction d'amortissement des crues, notamment en milieu karstique ; et enfin une fonction de protection de la ressource contre les pollutions atmosphériques.

Concernant cette dernière fonction, notons que les grandes villes comme Paris et Lyon ont réservé des ressources dites de secours ultime (nappe de l'Albien pour Paris) pour une utilisation éventuelle en cas de pollution nucléaire, bactériologique ou chimique (NBC).

La première question qui se pose est de savoir si toutes les masses d'eau souterraine contribuent de la même manière à la fourniture de ces différents services. Pour y répondre, j'ai utilisé une approche multicritère que j'ai appliquée aux masses d'eau du bassin Rhin Meuse. Un groupe d'experts a été sollicité pour affecter des scores pour chaque critère et chaque masse et un score global est ensuite estimé, en vue de hiérarchiser les masses d'eau selon un critère de valeur économique totale. La Figure 9 illustre que la valeur économique totale de plusieurs masses d'eau présentant un score similaire peut provenir de caractéristiques bien distinctes.

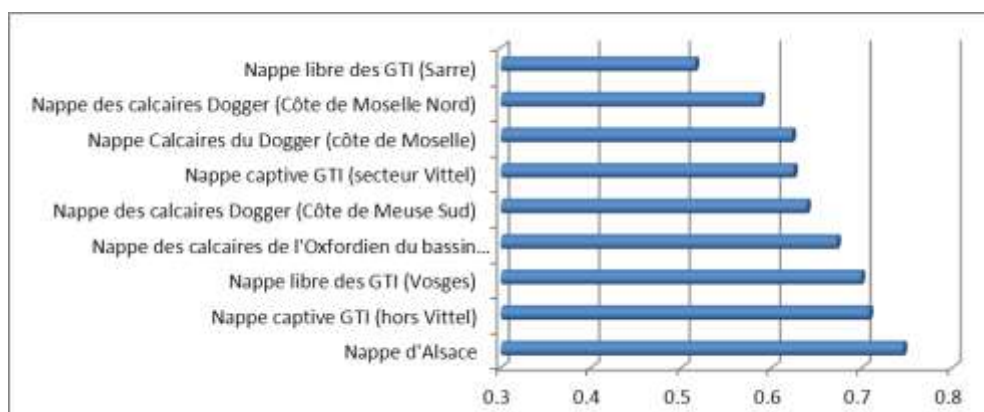


Figure 9 : Hiérarchisation des aquifères selon un critère de valeur économique totale (variant de 0 à 1).



Figure 10 : Fontaine publique prévue pour distribuer l'eau de la nappe de l'Albien à la population parisienne en cas de pollution NBC.

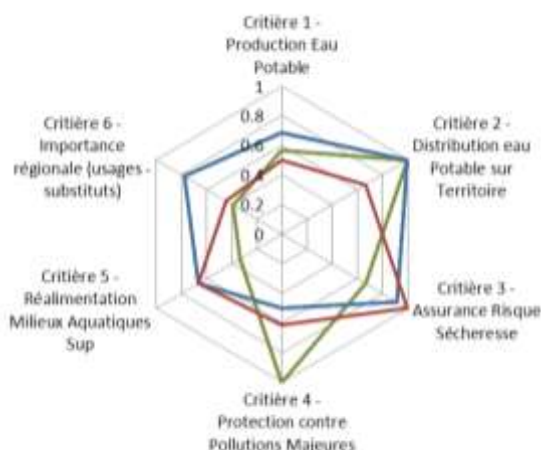


Figure 11 : Comparaison des facteurs constitutifs de la valeur de trois aquifères.

Pour l'économiste souhaitant évaluer monétairement la valeur de ces aquifères à l'aide de la méthode d'évaluation contingente, la question qui se pose est de savoir si le public a conscience de ces différents services rendus par les eaux souterraines. Sera-t-il capable d'en comprendre la valeur lorsqu'il sera confronté à un choix d'évaluation par enquête ? Pour répondre à cette question, j'ai réalisé, avec quelques étudiants en sociologie, une enquête qualitative auprès d'un échantillon de 80 ménages en Lorraine. L'enquête a permis de confirmer que le public « profane » avait une bonne connaissance du cycle de l'eau ; et qu'il percevait bien la fonction de stockage des aquifères et celle de filtration ; qu'il avait conscience du

rôle de stabilisation que jouent les ressources souterraines pour les milieux aquatiques de surface. En revanche, l'enquête met en évidence l'incapacité du public à représenter spatialement les eaux souterraines. Il s'agit d'un problème majeur lorsque les contours de la masse d'eau ne correspondent pas à un paysage cohérent en surface. Le ménage consulté par enquête est alors amené à évaluer un bien dont il ne perçoit pas les limites géographiques.

b) Evaluation contingente, une méthode adaptée ?

Dans le cadre du projet européen AQUAMONEY, j'ai voulu tester si la méthode d'évaluation contingente permettait d'évaluer séparément la valeur de ces différents services rendus par les eaux souterraines [58]*. La démarche consistait à échantillonner dans des zones où la population ne bénéficie pas des mêmes services rendus par la masse d'eau souterraine et tester la différence du CAP. L'étude de cas a porté sur la nappe des grès du Trias inférieur en Lorraine. Il s'agit d'une nappe captive (donc protégée des pollutions de surface), d'importance régionale. Cette ressource représente l'unique source d'eau potable pour certaines communes (groupe 1) et une ressource de sécurisation pour d'autres (groupe 2) ; elle n'est pas utilisée par certaines autres communes qui s'approvisionnent à partir des alluvions de la Moselle ou de la Meuse (groupe 3). La nappe est surexploitée et la baisse des niveaux piézométriques pourrait, à relativement court terme, dénoyer certains captages d'alimentation en eau potable.

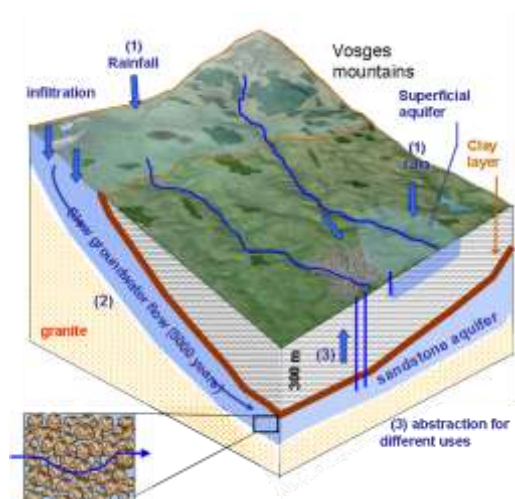


Figure 12 : Représentation simplifiée de la nappe présentée dans le questionnaire.
Source : [58]*



Figure 13 : Représentation de l'évolution de l'état de la nappe dans le temps (scénario de référence).

Un modèle hydrodynamique a permis de simuler de façon relativement fiable l'évolution future de l'état de la nappe, ce qui constitue le scénario de référence pour l'évaluation contingente. Le résultat est présenté aux ménages sous forme d'une carte (Figure 13) qui montre la date (de 2015 à 2050) à laquelle chaque sous-région est susceptible d'être confrontée au problème. Le scénario d'action consiste à stabiliser les niveaux de la nappe, notamment via des actions d'économie d'eau, et donc à éviter des dommages qui seraient sans cela survenus à une date comprise entre 2015 et 2050. Le questionnaire est envoyé par voie postale à 6000 ménages répartis dans les trois groupes de communes précédemment décrits avec environ 650 questionnaires exploitables reçus en retour. Le CAP moyen est de 40 €/an et par ménage (45 € si les

vrais zéros sont exclus). Le taux de refus (protestation) est de 32%. Environ 65% des personnes qui acceptent de payer le justifient par la préoccupation des générations futures. [58]*

L'analyse statistique des résultats montre que l'aspect temporel est intégré dans la formation du CAP par les personnes interrogées. Le CAP est plus élevé dans la zone « avant 2015 » que dans les autres zones, reflétant l'existence (ou non) de bénéfices d'usage. Concernant l'hypothèse testée, on montre que l'appartenance à l'un ou l'autre des groupes de communes n'est pas une variable explicative du CAP lorsqu'on analyse l'échantillon dans son ensemble. Ce résultat suggère que les ménages n'attribuent pas de valeur à la fonction de sécurisation que procure l'accès à l'eau souterraine. Enfin, nous montrons que le niveau de connaissance des enjeux de gestion de la nappe est négativement corrélé au CAP. Le fait d'apporter de l'information lors de l'enquête peut ainsi avoir un impact positif sur le CAP, un résultat déjà noté dans la littérature (Venkatachalam, 2004).

4.3. Conclusion

Les deux évaluations contingentes réalisées en Alsace et en Lorraine produisent des résultats convergents sur plusieurs points. Elles montrent en particulier que : (1) la population connaît relativement mal le bien évalué même si des différences significatives sont observées entre les deux régions ; (2) le CAP n'est pas corrélé aux usages directs ; et (3) il reflète fortement la préoccupation pour les générations futures. Ces résultats sont confirmés par d'autres études de cas réalisées dans le cadre du projet BRIDGE (Brouwer *et al.*, 2006. ; Miraldo Ordens *et al.*, 2006 ; Pakalniete *et al.*, 2006 ; Strosser et Bouscasse, 2006). Par ailleurs, la comparaison du CAP estimé dans ces deux masses d'eau d'importance stratégique avec ceux obtenus par Cécile Hérivaux (Herivaux, 2011) et Patrick Chegrani (Chegrani, 2009) dans des petites masses d'eau d'importance plus locale jette le doute sur la capacité des ménages d'évaluer distinctement la notion de masse d'eau comme objet spatialisé. Ces constats militent pour une utilisation conjointe de plusieurs méthodes (coûts évités, évaluation contingente) lorsqu'il s'agit d'évaluer des politiques publiques à l'échelle de bassin versant. Mais le constat invite également à multiplier les études de référence afin de disposer d'une base pour la réalisation d'une méta-analyse, à l'image de ce qui a été conduit aux USA (Boyle *et al.*, 1994). Les résultats d'une telle analyse seraient alors susceptibles de permettre le transfert de valeurs vers des sites n'ayant pas fait l'objet d'étude de cas (Brouwer, 2000).

5. Simulation du long terme dans un contexte de changement global

5.1. Problématique générale et positionnement

Dans ce quatrième et dernier axe de recherche, je m'intéresse à la manière dont simuler l'évolution à moyen et long terme (20 à 40 ans) des bassins versants étudiés. Il s'agit en effet d'une demande croissante exprimée par les gestionnaires de bassins qui cherchent à anticiper l'impact sur l'état de leurs ressources des changements économiques, environnementaux et climatiques pour mieux choisir les stratégies d'adaptation à mettre en œuvre. La contribution des économistes de l'eau consiste le plus souvent à développer des modèles représentant le fonctionnement des secteurs économiques exerçant des pressions quantitatives ou qualitatives sur les ressources en eau, puis à les utiliser en simulation pour quantifier l'effet de changements de l'environnement économique, réglementaire ou environnemental. Compte tenu de l'importance des impacts exercés par l'agriculture sur les ressources en eau, les économistes agricoles ont contribué de manière prépondérante à cette réflexion, en évaluant l'impact environnemental de scénarios de réforme de la politique agricole commune, de taxe environnementale, d'évolution du marché des

intrants ou des produits agricole, du changement climatique, etc. (Bartolini *et al.*, 2007 ; Berbel et Gómez-Limón, 2000). Une partie des travaux que j'ai réalisés avec Nina Graveline et Sébastien Loubier s'inscrit dans ce courant, et notamment dans la suite de ceux qui intègrent des modèles économiques et biophysiques.

Le principal enjeu scientifique des simulations économiques à long terme est relatif à la prise en compte dans des incertitudes sur les facteurs d'évolution considérés. Cette incertitude est souvent irréductible, qu'elle provienne du caractère stochastique de certains processus (fonctionnement des marchés), de l'imprédictibilité des choix politiques futurs (politique agricole) ou de connaissance imparfaite de processus naturels (changement climatique). Elle est le plus souvent prise en compte dans des approches de modélisation économique, soit par le biais de scénarios contrastés, soit, plus rarement, avec une approche probabiliste consistant à réaliser un grand nombre de simulations qui font ensuite l'objet d'une analyse statistique (Gibbons *et al.*, 2006). Mais l'incertitude peut aussi être appréhendée de manière plus qualitative à travers les approches prospectives. Un point commun aux deux démarches est qu'elles abandonnent la logique prédictive et la recherche d'une solution optimale, visant au contraire à faire émerger des stratégies qui permettent de s'adapter aux différents futurs possibles considérés (Dessai *et al.*, 2009).

5.2. L'approche par la modélisation

a) Couplage de modèles et simulation de scénarios contrastés

C'est à nouveau l'Alsace qui a servi de terrain d'étude pour aborder cette problématique, le périmètre d'étude étant cette fois élargi à la partie allemande de la plaine du Rhin (voir [6], [9] et [33]). L'objectif général du projet était de simuler l'évolution des teneurs en nitrate des eaux souterraines, en intégrant l'effet du changement climatique sur les processus agronomiques et hydrologiques et celui des politiques économiques sur l'agriculture. Notre contribution a consisté à développer des modèles économiques d'exploitations agricoles. Après avoir réalisé une typologie des exploitations agricoles, un modèle microéconomique a été construit pour chaque type d'exploitation, puis agrégé à l'échelle régionale pour représenter le fonctionnement de toutes les exploitations du même type. Cette approche fine de la modélisation par type permet de spatialiser les résultats ce qui facilite un couplage ultérieur avec des modèles biophysiques. Les modèles sont développés en programmation linéaire qui permet de représenter finement les pratiques et les contraintes techniques et environnementales des exploitations agricoles. Des fonctions de production (relation rendement-engrais) basée sur des observations agronomiques sont également intégrées dans le modèle.

Agrégés à l'échelle de la vallée du Rhin supérieur (4200 km²), les modèles économiques ont ensuite été couplés à un modèle de bilan d'azote spatialement distribué qui lui-même est couplé à un modèle hydrodynamique représentant les flux d'eau et de nitrate dans la nappe phréatique. Il s'agit d'un couplage « souple » (*loose coupling*) c'est-à-dire dans lequel il n'existe pas de mécanismes de feed-back au cours des simulations, les résultats des modèles économiques étant simplement pris comme entrée des modèles biophysiques. Les modèles économiques sont d'abord utilisés pour simuler l'impact de différents scénarios d'évolution des facteurs suivants : l'évolution de la Politique Agricole Commune - PAC (hypothèse de découplage variable suite à la réforme de Luxembourg en 2003); la hausse du prix de l'énergie ; le niveau des taxes environnementales (taxe sur les prélèvements d'eau et sur l'usage d'engrais chimiques) ; le développement des biocarburants ; et la prolifération de la chrysomelle (parasite du maïs). Concernant les instruments de gestion, la plupart des simulations réalisées confirment la relative inefficacité environnementale de la taxe sur les engrais bien que celle-ci soit plus efficace après la réforme de la PAC qu'avant.

Les résultats de ces simulations servent ensuite à élaborer trois scénarios contrastés, définis par un groupe d'experts en utilisant les principes de la prospective, et en conservant une cohérence avec les hypothèses des scénarios de changement climatique A2 et B1 du Panel Intergouvernemental du Changement Climatique. Le résultat des simulations couplées permet de simuler l'évolution des teneurs en nitrate de manière globale à l'échelle de la vallée du Rhin supérieur (Figure 14) et sous forme de cartes (incertitude plus grande). Les simulations montrent également que le scénario correspondant au plus fort développement des biocarburants (B2) est susceptible de conduire à la situation la plus défavorable au regard de la pollution par les nitrates, mettant en lumière l'éventuelle incompatibilité entre la politique environnementale de réduction d'émission des gaz à effet de serre et la politique de protection des ressources en eau.

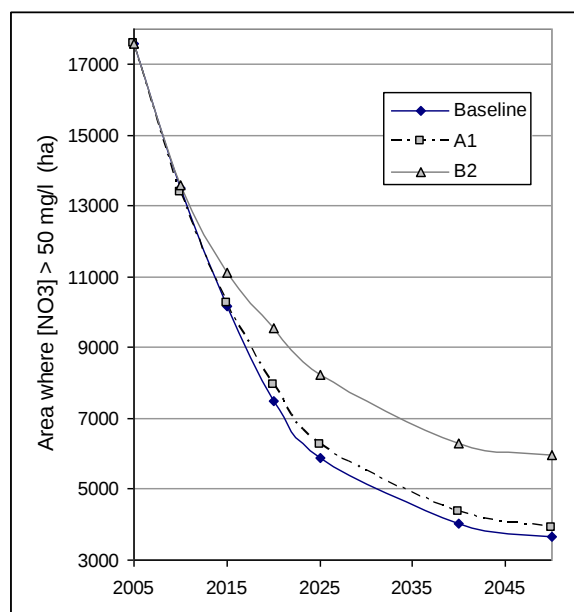


Figure 14 : Evolution des surfaces affectées par la pollution par les nitrates avec 3 scénarios.

Source : [33]

Les publications issues de ce travail sont les suivantes : [7]* et [33].

b) Approche probabiliste

Le travail de construction des trois scénarios décrits ci-dessus nous fait alors prendre conscience de la multiplicité des évolutions possibles. Se pose alors la question de quantifier en termes probabilistes l'évolution de la production agricole et de ses conséquences en termes d'émission de nitrates dans la zone racinaire. Nous développons alors une approche reposant sur la méthode des simulations Monte Carlo pour construire cette représentation statistique. Trois scénarios « cadre » sont d'abord construits chacun correspondant à une évolution économique globale caractérisée par une description narrative (*Business as usual*, *Libéral*, *Interventionniste*). Chaque scénario est décrit par 27 paramètres. Pour chacun d'eux, nous définissons une plage de valeur au sein de laquelle chaque paramètre est susceptible d'évoluer. L'évolution des paramètres est rendue cohérente (par exemple l'évolution du prix des engrais et pesticides est rendue dépendante de celle du prix du pétrole). Nous réalisons ensuite 200 tirages aléatoires des 27 paramètres pour chacun des 3 scénarios cadre puis nous en évaluons l'impact avec les 12 modèles d'exploitations agricoles.

Un traitement des résultats de simulation permet ensuite de construire une représentation statistique des résultats. Sur la Figure 15, on peut voir comment évolue la probabilité (axe horizontal) que soit dépassée une certaine valeur de pollution (axe vertical) et ce pour différents scénarios (courbes de couleur). Les flèches verticales permettent de visionner la dispersion des résultats (max-min) autour de la moyenne, montrant bien que la distribution n'est pas centrée sur la moyenne. Cette figure montre également que, les courbes de répartition se croisant (partie droite du graphique), le classement des scénarios en termes de pollution n'est pas fixe. Il existe par exemple 5% de chance de se tromper en considérant que le scénario A2 est moins polluant que B2.

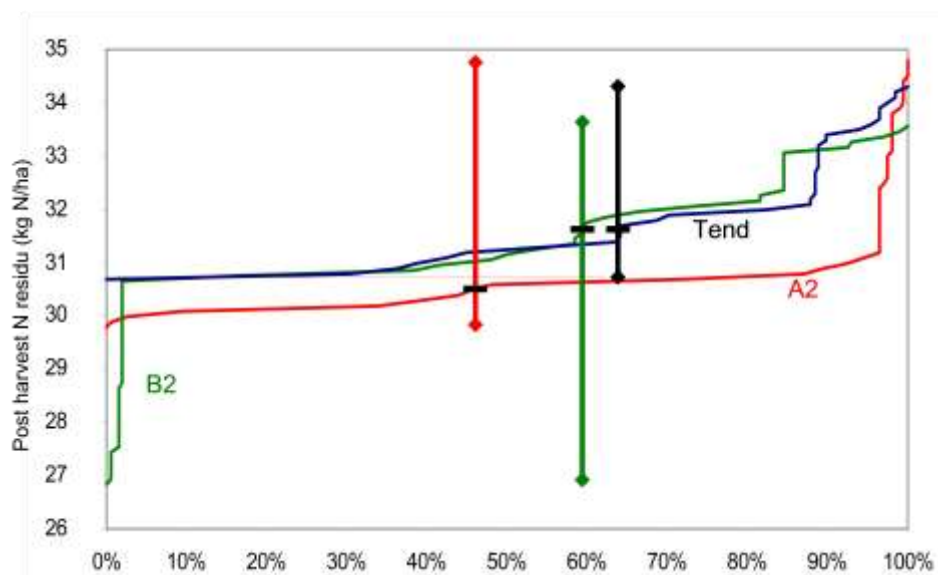


Figure 15 : Fonction de répartition de l'indicateur de pollution azotée (moyenne par ha, zone d'étude).

Source : [2]*

Les résultats de ce travail de simulation permettent de conclure à une relative stabilité des résultats par rapport à l'incertitude. Une conclusion similaire est tirée de l'application au bassin de la Neste réalisée par Sébastien Loubier et Guy Gleyses.

5.3. L'approche par la prospective

a) Cadre méthodologique

L'utilisation de modèles économiques pour simuler l'évolution à long terme des activités utilisatrices des ressources en eau (prélèvement ou pollution) présente deux limites principales. La première est qu'ils supposent que la structure du système de production reste stable. Or, la plupart des changements considérés a une influence majeure sur la structure des exploitations agricoles et cette évolution est certainement déterminante par rapport aux choix des productions et au niveau de pollution générée. La seconde limite est l'incapacité des modèles à simuler des ruptures majeures de nature technologique, sociale, environnementale ou réglementaire. Or, ce sont ces ruptures qui sont susceptibles de provoquer les changements les plus importants en termes de production et d'impact environnemental. En étant capable de rendre compte à la fois des ruptures et des changements de structure, les méthodes de la prospective offrent une perspective alternative à la modélisation. Je vais maintenant tenter d'en illustrer l'intérêt à partir d'une application réalisée dans les Pyrénées Orientales.

Rappelons tout d'abord que l'objectif de la prospective n'est pas de prévoir les évolutions futures, mais d'éclairer les choix présents en considérant une pluralité de futurs possibles (Godet et Roubelat, 1996). Dans mes travaux, j'adopte une approche participative de la prospective, cohérente avec la posture défendue dans la section « analyse des conflits ». Associer les acteurs à l'exploration des futurs permet non seulement de mieux imaginer les ruptures ou surprises possibles mais de préfigurer et d'évaluer les stratégies d'adaptation pouvant être mises en œuvre pour y faire face. Je mobilise principalement la méthode dite du « scenario planning » qui utilise les scénarii comme outils privilégiés d'exploration du futur. Développée dans les années 1960 (Kahn et Wiener, 1967), cette méthode a été depuis largement utilisée dans le monde de l'entreprise (Millett, 1988). Plus récemment, elle a été appliquée aux problématiques de développement durable, avec des applications aux politiques sectorielles (Rotmans *et al.*, 2000), à la conservation des espèces et la biodiversité (Carpenter *et al.*, 2007 ; Peterson *et al.*, 2003), à la réduction des émissions de gaz à effet de serre (Nakicenovic et Swart, 2000), à l'évaluation d'impact environnemental (Duinker et Greig, 2007), à l'évaluation de l'impact environnemental de l'agriculture

(Poux, 2006 ; Reed *et al.*, 2009), à la lutte contre la désertification (Patel *et al.*, 2007) ou encore à la planification urbaine (Street, 1997). En revanche, je n'ai recensé que peu d'applications dans le domaine de l'eau. Celles-ci sont le plus souvent réalisées à l'échelle continentale (Lake et Bond, 2007), pan-européenne (Kämäri *et al.*, 2008) ou mondiale (van der Helm, 2003). Les exemples les plus cités sont le développement de la « World Water Vision » (Gallop et Rijsberman, 2000) et les résultats des modèles WATERGAP (Alcamo *et al.*, 2007) et WaterSim (de Fraiture et Wichelns, 2010). D'autres applications portent sur l'industrie de l'eau potable (Lienert *et al.*, 2006 ; Westcott, 2004). Mais les applications à l'échelle des bassins versants restent rares (Hatzilacou *et al.*, 2007). Mes travaux contribuent donc à ce domaine émergent.

b) Application à l'évaluation de la demande en eau

J'ai appliqué la méthode du « scenario planning » sur trois terrains d'étude : dans le département de l'Hérault [52] où le travail se poursuit actuellement (voir projet de recherche) ; dans les Pyrénées Orientales [1] et à l'île de la Réunion où le travail a donné lieu à une publication soumise [24]. Les deux derniers cas d'études sont présentés à titre d'illustration.

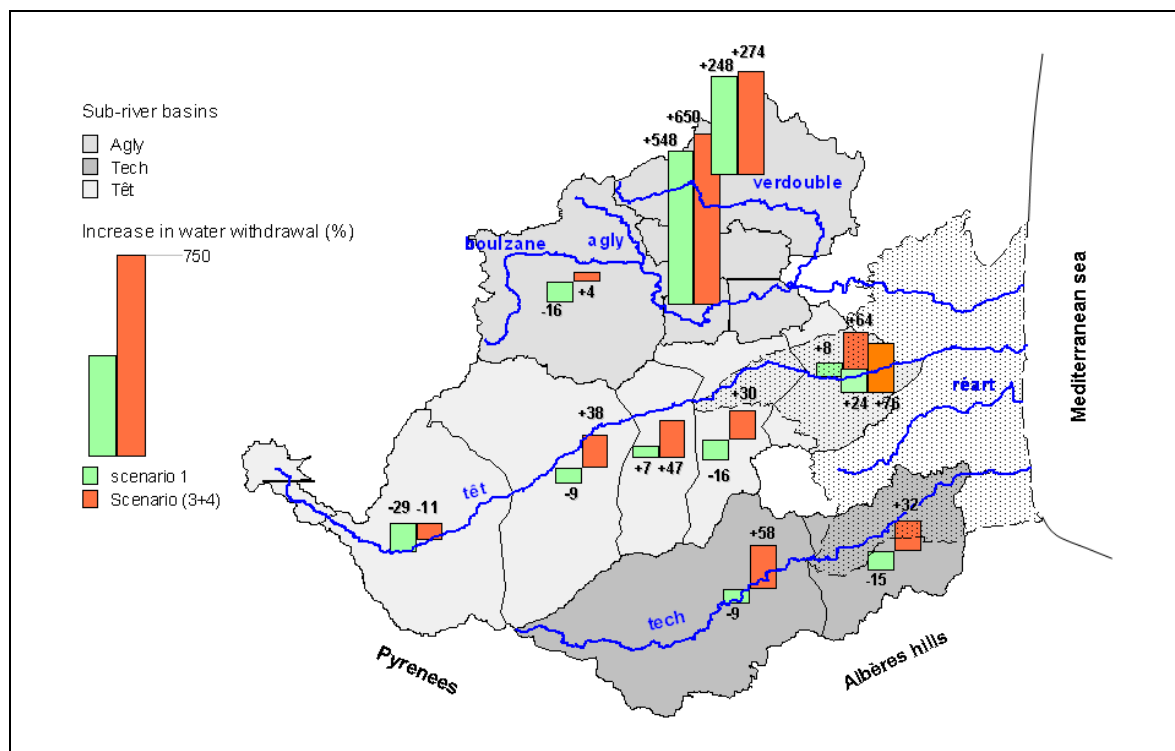


Figure 16 : Evaluation des besoins en eau d'irrigation associés à deux scénarios d'évolution de l'agriculture dans les Pyrénées Orientales. *Source* : [1]

Dans les Pyrénées Orientales, l'exercice de prospective participative a été réalisé dans le cadre des projets VULCAIN et AQUIMED portant sur l'impact du changement climatique. L'objectif consistait à anticiper différentes évolutions possibles de l'agriculture à l'horizon 2030 puis 2050 et à quantifier les besoins en eau d'irrigation associés à chacun de ces scénarios. La méthode a consisté à organiser des ateliers réunissant d'une part des acteurs institutionnels et d'autre part des groupes d'agriculteurs. Les ateliers ont été conduits en trois temps : une discussion de l'évolution possible de l'agriculture à l'horizon 2030 ; une évaluation des impacts possibles du changement climatique sur les exploitations et les filières agricoles ; et une exploration de nouveaux mécanismes de gestion des ressources en eau (cf. section 3 ci-dessus). Concernant la première étape, nous avons préparé et mis en débat 4 scénarios décrivant des évolutions possibles de l'agriculture à l'horizon 2030. Énoncés sous forme narrative, ces scénarios décrivent à la fois l'évolution du contexte économique et sociétal général (demande des consommateurs, prix de l'énergie, etc.), la politique agricole (européenne et régionale) et les changements internes au territoire étudié

(démographie agricole, étalement urbain). Au cours de l'atelier, ils sont évalués par les participants au regard de critères de cohérence et de plausibilité, déconstruits et remodelés. Deux visions contrastées émergent des discussions, elles seront ultérieurement quantifiées en termes de surfaces cultivées et irriguées et les besoins en eau d'irrigation associés seront évalués. Les résultats sont ensuite utilisés par nos collègues hydrologues comme conditions d'entrée de leurs modèles. L'ensemble de la démarche pluridisciplinaire permet de quantifier l'impact relatif du changement socio-économique et du changement climatique sur l'état quantitatif des ressources en eau.

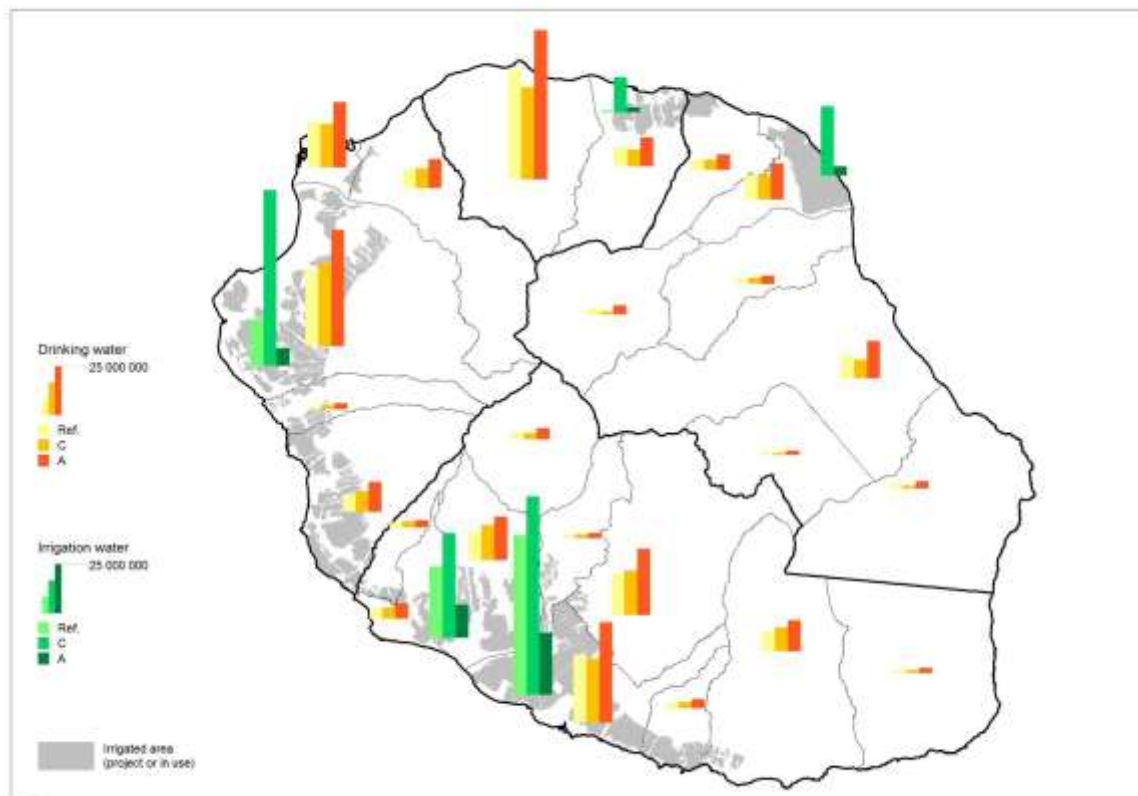


Figure 17 : Evolution des besoins en eau d'irrigation et en eau potable avec 3 scénarios dans l'île de la Réunion.

Sur l'île de la Réunion, l'exercice de prospective a porté à la fois sur la demande en eau d'irrigation (canne à sucre) et la demande en eau potable associée à la croissance démographique et au développement urbain. L'enjeu consistait à rendre compte de l'interaction entre la dynamique urbaine et agricole via la concurrence pour le foncier. Le choix de la méthode de prospective s'est avéré particulièrement pertinent du fait des fortes incertitudes relatives à l'avenir de la filière canne à sucre. Dans le domaine agricole, deux scénarios contrastés ont été décrits, l'un supposant la disparition de la filière (les usines sont actuellement en limite inférieure de capacité et toute baisse de la production entraînerait leur fermeture), l'autre supposant le renouveau de cette filière avec la valorisation des déchets en sous-produits valorisables (énergie, matériaux). Deux scénarios de développement urbain et de demande en eau potable cohérents avec ces scénarios agricoles ont été développés. La mise en commun des réflexions fait également émerger un scénario hybride dans lequel l'agriculture s'efface sur la côte Sud et Ouest au profit du développement d'une économie résidentielle et se renforce sur la côte Est, avec le maintien d'une seule usine, qui traiterait également la production de la côte Est laquelle serait acheminée par train-tram. Mais ce scénario est catégoriquement rejeté par les industriels de la filière qui cherchent à le disqualifier et à ne maintenir dans le débat que deux visions alternatives : la disparition de l'agriculture (vision repoussoir) ou le maintien d'une agriculture performante reposant sur la protection du foncier agricole. La démarche prospective

apparaît alors comme un outil puissant pour révéler les comportements stratégiques des acteurs et alimenter une analyse de type économie politique des enjeux liés à la gestion de l'eau.

5.4. Conclusion sur l'incertitude

Les approches méthodologiques que nous venons de présenter sont plus complémentaires que concurrentes pour évaluer l'incertitude : l'approche par la modélisation permet de quantifier une densité de probabilité en supposant une certaine stabilité de la structure du système étudié ce qui peut permettre au décideur de raisonner en termes d'utilité espérée (calcul du coût de l'erreur par exemple) ; l'approche prospective s'intéresse au contraire à l'incertitude associée aux ruptures ou changement de trajectoire du système sans pouvoir quantifier leur probabilité d'occurrence.

Mais au-delà de ces méthodes, il me semble important de poursuivre la réflexion sur la manière dont le décideur public peut l'intégrer dans l'élaboration de plans de gestion de bassins versant. Considérant que l'incertitude est irréductible, le problème que l'économiste doit résoudre est l'identification d'une solution robuste, c'est-à-dire permettant de maximiser la probabilité d'atteindre des objectifs prédéfinis (en termes économiques, environnementaux ou sociaux). C'est dans cette direction que je poursuivrai mes travaux dans le domaine de la prospective, en m'inspirant du cadre d'analyse développé par des auteurs comme (Groves *et al.*, 2008) et (Dessai et Hulme, 2007).

6. Conclusion

De l'étude des grands périmètres irrigués du Pakistan à celle de la nappe d'Alsace, mes travaux ont porté sur un unique objet d'étude : l'eau. Par intérêt autant que par nécessité, j'ai abordé des problématiques très diverses liées à la gestion de cette ressource, sur de nombreux terrains d'étude. J'ai mobilisé des approches méthodologiques et des outils variés, de la modélisation microéconomique des exploitations agricoles, à la prospective en passant par l'évaluation contingente. Il en résulte une certaine dispersion de mes travaux que j'ai progressivement cherché à réduire, conscient qu'on ne peut pas suivre les avancées de la littérature scientifique dans autant de domaines. Ceci m'amène aujourd'hui à proposer un recentrage de mes travaux sur les problématiques de gestion quantitative, selon quelques axes que je présenterai un peu plus loin.

Ce recentrage thématique devra également s'accompagner d'une focalisation de mes collaborations scientifiques. Le large spectre des disciplines avec lesquelles j'ai collaboré au cours des 18 ans décrits dans les pages qui précèdent m'a apporté une culture générale scientifique indispensable pour traiter des problématiques liées à l'eau. Fort de cet acquis, je chercherai maintenant à renforcer mon réseau scientifique en économie, en visant en priorité les équipes travaillant sur les questions de gestion quantitative notamment en France (G-EAU, LEERNA), en Espagne (UP Madrid, UP Valencia, U Cartagena), en Californie (UC Davis et UC LA) et en Australie (ANU).

Enfin, je ressens le besoin de trouver un nouvel équilibre entre travail empirique et théorique. Bien que restant convaincu de l'importance de l'approche « terrain » que j'ai défendue dans ces pages, je peux désormais compter sur une équipe compétente et des étudiants pour prendre en charge une partie de ce travail et consacrer plus de temps à la confrontation des « trouvailles » du terrain avec la théorie.

C'est sur la base de ces réflexions que je propose les grandes lignes de mon projet de recherche.

III. Projet de recherche

1. Principales orientations

1.1. Préambule

La définition d'un projet scientifique est un exercice très contingent et le restera tant que les agences de recherche financeront des projets et pas des hommes (Ioannidis, 2011). L'exercice est d'autant plus contraint lorsqu'on travaille dans un EPIC et que la réalisation du projet suppose de pouvoir mobiliser des financements couvrant non seulement les coûts marginaux (fonctionnement et personnel temporaire) mais aussi le coût complet du temps des chercheurs. Il est aussi rendu incertain par le contexte de plus en plus concurrentiel qui caractérise les appels d'offre de recherche. Pour cette raison, le projet que je propose ci-dessous correspond principalement à des chantiers déjà engagés et pour lesquels les financements sont au moins en partie acquis. Il s'agit donc d'un projet à moyen terme (5 ans). Les questions de recherche qu'il aborde sont néanmoins susceptibles de représenter des axes de recherche pour le plus long terme.

1.2. Recentrage sur la gestion quantitative

De manière générale, je souhaite pouvoir recentrer mes travaux de recherche sur la question de la gestion quantitative des eaux souterraines en zone méditerranéenne, en lien avec la problématique du changement climatique. La plupart des scientifiques s'accorde en effet pour dire les sociétés méditerranéennes devront faire face, dans les décennies à venir, à une augmentation de la rareté de l'eau et du risque de sécheresse (Bates *et al.*, 2008 ; García-Ruiz *et al.*, 2011 ; Giorgi et Lionello, 2008 ; Mariotti *et al.*, 2008). Les problématiques d'allocation de la ressource en eau entre usages concurrents vont ainsi devenir plus prégnantes, reposant en des termes nouveaux les questions de recherche relatives aux instruments économiques (tarification, marchés de droits), aux institutions pour la gestion collective des eaux souterraines ou à l'évaluation de la demande à long terme. La demande sociale pour des outils d'aide à la décision permettant d'optimiser les choix de gestion des bassins versants se fera certainement plus pressante. La situation de rareté de l'eau qui prévaut actuellement dans l'Ouest des Etats Unis ou en Australie permet de se faire une idée de la nature des enjeux de gestion et des questions scientifiques et méthodologiques qui se poseront bientôt dans le sud de l'Europe. Je continuerai donc mes travaux sur les marchés de l'eau, la tarification, la gouvernance des eaux souterraines et la prospective. J'ouvrirai également d'autres chantiers concernant l'optimisation économique de la gestion des bassins versants et l'évaluation de la vulnérabilité économique des usagers de l'eau au changement climatique.

1.3. Ouverture vers le sud de la méditerranée

En complément de ce recentrage thématique, je souhaite procéder à une ouverture géographique vers le sud de la méditerranée. Ma participation au projet ANR Groundwater ARENA (2012-2014) me permettra d'aborder sous un angle nouveau la question de la régulation de l'accès à l'eau souterraine à travers des études de cas en Algérie, au Maroc et en Tunisie. Dans des contextes où l'Etat ne dispose pas des moyens nécessaires à la mise en place d'une gestion volumétrique des ressources, la question de recherche se déplace vers celle de la transformation du capital naturel en capital économique et social (Faysse *et al.*, 2012 ; Faysse *et al.*, 2011 ; Hammani *et al.*, 2009). Ce constat invite à revisiter le travail fondateur d'Hotelling sur l'économie des ressources épuisables (Hotelling, 1931) mais aussi ceux issus de recherche

sur l'exploitation des eaux souterraines dans le sous-continent Indien (Shah, 2007 ; Shah *et al.*, 2006) qui abordent la problématique sous l'angle de l'écologie politique (Mukherji et Shah, 2005) et qui intègrent dans leur analyse le lien entre politique de l'eau et de l'énergie (Shah *et al.*, 2012).

Cette ouverture reposera sur de nouveaux partenariats, tant au Nord (IRD, CIRAD, notamment via l'UMR G-EAU) qu'au Sud avec l'ENA Meknès et IAV Hassan II au Maroc, l'INAT en Tunisie et l'INA en Algérie. Elle nécessitera également une implication soutenue sur des terrains nouveaux dont la compréhension, bien que facilitée par la présence de partenaires sur place, représente un investissement à long terme. Enfin, elle supposera une certaine remise en cause personnelle par rapports aux approches conceptuelles et aux outils utilisés, dont certaines, comme la prospective par exemple, ne sont pas pertinentes en terres d'Islam.

1.4. Equilibre entre théorie et application, économie et pluridisciplinarité

Ayant acquis une grande expérience des réalités de terrain, je ressens aujourd'hui le besoin de consacrer plus de temps à des réflexions théoriques qui me permettraient de mieux valoriser cet acquis. Je souhaite donc pouvoir me rapprocher d'économistes développant des approches plus théoriques, ou maîtrisant mieux que moi certains outils économiques. Dans les 3 années à venir, je compte particulièrement développer ma collaboration avec des économistes agricoles comme Javier Calatrava (Université de Cartagena) et Alberto Garrido (Université Polytechnique de Madrid). Un rapprochement avec la communauté de l'économie expérimentale (LAMETA) me paraît notamment prometteur, bien que je n'envisage pas moi-même de développer des compétences autonomes dans le domaine. Une collaboration avec l'équipe du LEERNA de Toulouse (dont certains travaux portent sur des problématiques très proches des miennes) serait également complémentaire en termes de capacité de formalisation analytique et de modélisation économétrique. Ces collaborations devraient en outre permettre de valoriser le résultat des travaux de recherche auxquels je participerai dans des revues plus académiques, ce point représentant un point faible de ma première partie de carrière.

Cette évolution n'est cependant pas incompatible avec l'interdisciplinarité, que je continuerai de pratiquer, valorisant ma double compétence scientifique d'ingénieur et d'économiste. Je suis persuadé que la combinaison des deux compétences peut produire une recherche de qualité en économie, à l'interface avec les sciences dures (hydrologie, climatologie, agronomie). Ce positionnement me semble particulièrement pertinent pour la thématique sur laquelle je propose de recentrer mes travaux. Il correspond à une demande sociétale forte, que traduisent les appels d'offre européens et ceux de l'ANR. Enfin, l'histoire me semble témoigner en faveur de cette complémentarité : la micro-économie n'a-t-elle pas été inventée et développée par les ingénieurs (français), dont Dupuit est la figure emblématique (Ekelund et Hébert, 1999 ; Ekelund et Hébert, 2002) ?

2. Axes de recherche

2.1. Régulation de l'accès et de l'usage des eaux souterraines

Comme cela a déjà été souligné auparavant, trois modes de régulation de la ressource peuvent être envisagés : une régulation par l'Etat, une autre par le marché ou une autorégulation. En France, l'Etat cherche à se désengager de cette gestion ; de plus, la régulation par l'Etat a été déjà longuement analysée par le passé. Je propose ici d'étudier les deux autres modes de régulation, en tentant notamment de confronter les enseignements issus des travaux de Rose (Rose, 2002) pour les appliquer au cas de la ressource en eau souterraine. J'envisage donc de comparer la régulation par le marché (interdite

actuellement en France mais déjà en vigueur dans des pays proches culturellement comme l'Espagne) et l'autorégulation (souvent déjà de mise pour la répartition des eaux de surface lorsqu'un réseau d'amenée de l'eau est en place et prévue par la loi pour l'allocation des eaux souterraines). Cette comparaison est l'objet final de la recherche proposée ici, les phases intermédiaires étant l'exploration fine des deux options que je vais maintenant présenter.

a) Les marchés de l'eau

Le projet européen Water Cap & Trade dont j'assure la coordination me permettra de poursuivre mes travaux sur le thème des marchés de l'eau jusqu'à fin 2013. La problématique générale consiste à identifier des formes de marchés de l'eau qui pourraient représenter une réponse à la raréfaction de la ressource induite par le changement climatique. La question des marchés sera abordée sous l'angle des institutions à mettre en place, des coûts de transaction associés et de son acceptabilité sociale. Quatre types de scénarios de marché seront étudiés dans trois pays (France, Italie, Espagne) permettant une comparaison des résultats : (1) marchés de droits d'eau souterraine ; (2) contrats d'option ; (3) achat public d'eau par une Banque d'eau chargée de la protection de l'environnement ; et (4) échanges de droits interurbains.

Je continuerai d'abord les travaux initiés sur les marchés d'eau souterraine en me focalisant sur la question des coûts de transaction et de contrôle des effets externes (voir section 3). Nous considérerons un scénario d'échanges au sein du secteur agricole, faisant suite à la mise en place des Organismes Uniques de Gestion Collective (Lafitte *et al.*, 2008). Le travail s'appuiera sur plusieurs études de cas réalisées dans différentes régions françaises (bassins de la Vienne, de l'Aube, du Cher, nappes alluviales de la plaine de Garonne, etc.). L'analyse reposera sur la construction de scénarios institutionnels qui seront débattus avec des acteurs de l'eau et des agriculteurs au cours d'ateliers de prospective, inspirés de nos premiers travaux sur ce thème [3]*.

Le deuxième scénario de marché que je propose d'étudier est le contrat d'option qui permet le transfert temporaire d'eau lors d'années hydrologiques exceptionnelles sans nécessiter de transfert de propriété. Ce type de contrat est susceptible de représenter une stratégie d'adaptation à une augmentation de la fréquence (et intensité) des sécheresses. Le mécanisme a fonctionné aux USA depuis les années 1990 (Michelsen et Young, 1993 ; Tomkins et Weber, 2010) et il est envisagé dans d'autres pays notamment en Espagne (Garrido, communication personnelle) et, de manière encore théorique, en France (Lefebvre, 2011). L'étude de ces marchés a fait l'objet d'approches expérimentales (Hansen *et al.*, 2008 ; Lefebvre, 2011 ; Murphy *et al.*, 2009) que nous proposons de compléter par une approche plus institutionnelle.

Le troisième scénario de marché étudié est celui par lequel l'Etat envisage de racheter des droits d'eau dans un objectif de protection de l'environnement, qu'il s'agisse d'un achat temporaire en années hydrologiques exceptionnelles ou d'un achat permanent. De tels arrangements ont été mis en œuvre dans les bassins du Jucar, du Guadiana et du Guadalquivir en Espagne en 2007 et 2008 (Garrido *et al.*, in press) et ils ont été discutés en Australie (Grafton et Hussey, 2006). Nous explorerons dans quelle mesure ce mécanisme serait applicable en France, en essayant de préciser les arrangements institutionnels et d'identifier (à défaut de pouvoir les quantifier) les coûts de transaction associés. Les trois scénarios décrits ci-dessus seront explorés en utilisant les méthodes de prospective participative impliquant les acteurs potentiellement concernés

Enfin le quatrième scénario s'intéresse aux échanges permanents qui pourraient avoir lieu entre municipalités d'un bassin versant où la ressource est limitante. Ce scénario sera évalué quantitativement à travers une analyse empirique appliquée aux bassins versants de l'Orb et de l'Hérault. Les fonctions de coûts de production d'eau seront estimées pour une centaine de municipalités puis les échanges théoriques seront simulés, avec différentes hypothèses de coûts de transaction et de contraintes environnementales limitant la portée géographique des échanges.

b) Gestion collective des eaux souterraines

En parallèle, je m'intéresserai à la mise en place d'une gestion collective des eaux souterraines en France, vue comme une approche alternative au mécanisme de marché étudié dans le premier axe. On s'inscrit ici dans la suite de la littérature sur la gestion des communs qui montre que les phénomènes de confiance, de réciprocité et d'histoire sociale peuvent donner naissance à des comportements coopératifs contrairement aux prédictions des modèles (Ostrom, 2000). La problématique est d'identifier les conditions institutionnelles susceptibles de favoriser les comportements coopératifs au sein de populations d'agriculteurs irrigants dans le cadre des organismes uniques en France. Nous nous intéresserons plus particulièrement au rôle des incitations dans l'émergence des comportements coopératifs (Travers *et al.*, 2011). Différents types d'incitation seront testées à travers un dispositif expérimental impliquant des agriculteurs. Ces expériences seront réalisées dans 5 à 6 bassins différents afin de vérifier l'impact que le contexte institutionnel, social et historique peut avoir sur le niveau de coopération et l'effet des instruments incitatifs (Anderies *et al.*, 2011). Pour permettre ensuite la comparaison entre les deux types d'instrument, les terrains d'étude prévus sont les mêmes que ceux identifiés pour le cas des marchés de l'eau. Ce travail sera conduit dans le cadre de la thèse d'Anne-Gaëlle Figureau (2011-2014) dont la direction est assurée par Marielle Montginoul. Un financement annexe obtenu auprès de l'Agence de l'Eau RMC permettra de financer les expériences.

2.2. Modélisation hydroéconomique des bassins versants

Le deuxième axe de recherche que je souhaite développer porte sur les modèles hydro-économiques permettant d'optimiser la gestion des bassins versants. Appliqués aux problématiques de gestion quantitative, ces outils visent à identifier la combinaison d'actions qui permet d'atteindre des objectifs environnementaux prédéfinis (débits minimum par exemple) au coût le plus faible (Brouwer et Hofkes, 2008 ; Harou *et al.*, 2009 ; Heinz *et al.*, 2007). Le modèle intègre généralement une représentation simplifiée du fonctionnement hydrologique du bassin, des fonctions de coût pour les actions consistant à mobiliser les différentes ressources et des fonctions de demande pour les usages économiques.

De tels modèles ont été développés depuis une dizaine d'années à l'échelle de la Californie (Draper *et al.*, 2003 ; Medellín-Azuara *et al.*, 2009) ou pour différents bassins en Espagne avec le modèle AQUATOOL (Andreu *et al.*, 1996) ou d'autres applications développées avec GAMS (Pulido-Velazquez *et al.*, 2008). Ils sont utilisés pour optimiser l'allocation lorsque différentes ressources sont présentes (Pulido-Velazquez *et al.*, 2006), pour évaluer les effets du changement climatique (Tanaka *et al.*, 2006), pour simuler et évaluer des scénarios de marchés de l'eau (Newlin *et al.*, 2002) ou de gestion du risque de sécheresse via des contrats d'option (Hansen *et al.*, 2008).

Dans les années à venir, je souhaite utiliser ce type d'outil notamment pour explorer trois problématiques :

- La première consistera à analyser les arbitrages possibles entre le niveau de contrainte environnementale (i.e. débit d'étiage minimum) et le risque de défaillance que l'on accepte par rapport à cette contrainte (Hashimoto *et al.*, 1982). En effet, dans un contexte de variabilité croissante des aléas climatiques, les gestionnaires sont amenés à fixer des objectifs de gestion dans ces deux dimensions. Les modèles permettront d'évaluer le coût associé à une modification de la pratique actuelle qui consiste à garantir le respect des contraintes environnementales 4 années sur 5. Des courbes iso-coûts seront construites en faisant varier à la fois le niveau de débit d'étiage objectif et le risque de défaillance accepté.
- La deuxième cherchera à évaluer les arbitrages entre efficacité et équité en définissant différentes modalités de partage du coût du programme de gestion.
- Enfin, nous utiliserons les modèles développés en simulation pour estimer la robustesse des solutions identifiées lors de la phase d'optimisation. Cette évaluation reposera sur une approche de type Monte Carlo, consistant à générer un nombre important de situations futures (définies par des demandes en

eau et des disponibilités de ressource) pour lesquelles on caractérisera des indicateurs de performance environnementale, économique et sociale. La robustesse sera définie par la proportion de simulations dans lesquelles des objectifs de performance sont atteints. On s'inspirera notamment des travaux de la RAND corporation en Californie (Groves *et al.*, 2008).

Ce travail s'appuiera sur des modèles en cours de développement dans les bassins versants de l'Hérault et de l'Orb, dans le cadre de la thèse de Corentin Girard que je codirige avec Manuel Pulido-Velazquez de l'Université Polytechnique de Valencia. Cette thèse mobilise une série d'études que j'ai coordonnées entre 2006 et 2012 qui ont permis d'accéder à de nombreuses données sur les usages actuels et futurs, l'hydrologie, le climat et son évolution future [52].

2.3. Vulnérabilité économique et adaptation au changement climatique

Avec les changements climatiques annoncés, les activités économiques devraient être confrontées à une augmentation des risques, notamment ceux liés à l'eau (sécheresse, inondation, érosion, mouvements de terrain, submersion marine). Au-delà des stratégies d'adaptation collective qui seront mises en place par les pouvoirs publics (comme la modification des zonages ou la construction d'infrastructures de protection), les acteurs économiques seront amenés à modifier leurs comportements pour minimiser les risques économiques encourus. Ceci est particulièrement vrai dans le secteur agricole où les résultats économiques dépendent des variables climatiques, des ressources et des risques associés. Les possibilités d'adaptation individuelle sont infinies, entre changements d'activités, de pratiques, de technologies, ou déplacement géographique. Ces choix d'adaptation réalisés à l'échelle individuelle ne seront pas homogènes au sein des populations concernées car tous les groupes sociaux ne disposent pas des mêmes ressources financières, humaines, techniques ou environnementales pour s'adapter. La simulation de ces choix individuels d'adaptation est donc un enjeu majeur pour les acteurs qui cherchent à anticiper l'impact des changements globaux sur la vulnérabilité économique des populations.

Cette problématique est abordée sous deux angles complémentaires par la littérature scientifique. Un premier groupe de travaux s'attache à décrire les stratégies d'adaptation technique et économique mises en œuvre par les agriculteurs (Seguin, 2003) et à analyser économétriquement les déterminants des choix d'adaptation (Bradshaw *et al.*, 2004 ; Deressa *et al.*, 2009 ; Nhemachena et Hassan, 2007). Ces analyses pourraient être complétées par des approches prospectives qui fassent émerger les adaptations futures. Un second groupe de travaux propose des méthodes d'évaluation du potentiel d'adaptation des agriculteurs, en supposant que ce potentiel est déterminé par le capital humain, physique, naturel, financier et social dont disposent les exploitations (Aulong *et al.*, soumis ; Orr et Mwale, 2001). La principale faiblesse de ces approches est de ne pas établir de lien entre le potentiel d'adaptation et les stratégies qui peuvent concrètement être choisies. Je pense que ces deux courants de la littérature peuvent être combinés pour modéliser les choix stratégiques réalisés par les agriculteurs. Il s'agit d'une approche inductive, explicitant la nature des contraintes et des ressources qui conditionnent la décision de différentes catégories d'agriculteurs. De tels modèles pourraient ensuite être utilisés pour simuler les choix d'adaptation de populations hétérogènes en réponse à différents scénarios d'évolution climatique, hydrologique et économique.

Une méthodologie opérationnelle permettant de simuler les choix d'adaptation de populations hétérogènes d'agriculteurs sera développée et testée à travers des applications en pays développés et en développement. Le premier terrain d'étude sera choisi dans le département des Pyrénées Orientales où nous avons déjà étudié, avec ma collègue Laure Maton, les impacts du changement climatique sur les exploitations agricoles [57]. Nous poursuivrons ce travail en décrivant les principales stratégies d'adaptation et les contraintes associées à leur mise en œuvre, travail qui sera réalisé avec les groupes d'agriculteurs mis en place en 2010 et 2011. Des modèles de décision relativement simples seront établis puis appliqués à un

échantillon d'une centaine d'agriculteurs représentatifs de la diversité des systèmes de production, qui auront été caractérisés par enquête. Ce travail sera initié dans le cadre d'un projet sur 2 ans financé par la Direction de la Recherche du BRGM et coordonné par ma collègue Cécile Hérivaux.

Le second terrain d'étude sera probablement localisé dans la plaine du Saiss au Maroc. Le cadre d'analyse des stratégies d'adaptation sera élargi, en considérant les possibilités de diversification des sources de revenu (y compris hors secteur agricole), les possibilités de déplacement des exploitations et de migration. L'une des difficultés consistera à bien appréhender l'échelle à laquelle les stratégies d'adaptation sont décidées (exploitation, ménage, famille étendue ?) – difficulté que la littérature auparavant citée passe sous silence. Nous nous intéresserons plus particulièrement à l'adaptation des exploitations agricoles à la raréfaction de la ressource en eau souterraine dont le niveau baisse depuis plus de 20 ans (approfondissement des puits et forages, changement de culture, déplacement des exploitations, achat de droits d'eau de surface). Ce travail sera conduit avec un post-doctorant que j'encadrerai en collaboration avec Nicolas Fayse du CIRAD dans le cadre du projet ARENA Groundwater (ANR).

3. Conclusion

Comme il se doit dans un mémoire d'HDR, j'ai parlé de science. Je conclurai en replaçant des travaux scientifiques dans leur contexte plus général, celui qui nous conduit tous à dépenser une énergie croissante dans des activités de gestion de la recherche.

Concernant le bilan que j'ai décrit dans le résumé des travaux, je rappellerai qu'il doit être évalué en tenant compte du fait que j'ai développé une activité nouvelle au BRGM. Il a d'abord fallu convaincre mes collègues hydrogéologues de l'intérêt d'une approche pluridisciplinaire, conduisant à des compromis quant aux problématiques à traiter. Ceci explique notamment que les travaux menés avec mes collègues de Montpellier dans les années 2000 à 2002 ne soient problématisés en des termes très économiques – ni publiés dans des revues reconnues dans la discipline. Il a ensuite fallu obtenir des contrats pour justifier des demandes de recrutement. J'ai ainsi consacré une partie importante de mon temps à contribuer au montage de divers projets européens, sans être très exigeant sur les partenariats mis en place dans ces projets. Nous étions alors parfois les seuls économistes dans un consortium de recherche regroupant essentiellement des spécialistes des sciences de l'eau. D'où certaines publications dans des revues improbables pour un économiste comme *Trends in Analytical Chemistry* [6] ou un chapitre dans un ouvrage publié par la *Royal Society of Chemistry* [31]. Enfin, lorsque les recrutements ont pu se faire, il m'a fallu accompagner le développement d'une équipe qui est passé d'un à six jeunes chercheurs en l'espace de quatre ans. Le temps que j'ai alors dû y consacrer explique le « trou » dans ma liste de publication de 2005 à 2009.

Concernant l'avenir, le projet de recherche que j'ai décrit ne m'occupera pas à temps plein, vu mon implication dans la coordination de la recherche en économie au BRGM. Je poursuivrai l'animation de la petite équipe d'économiste du service Eau et le co-encadrement des deux doctorants. Par ailleurs, je suis chargé par la Direction de la Recherche de développer d'autres axes de recherche dans le domaine de l'économie de l'environnement et des géo-ressources. Le champ d'étude s'élargit avec deux nouveaux objets liés à l'eau : les sols et les ressources géothermiques. La notion de service éco-systémique et les questions relatives à l'évaluation de leur valeur économique sont au centre de ces nouveaux axes. Une équipe pluridisciplinaire doit être progressivement constituée, de nouveaux contrats recherchés et des collaborations scientifiques établies. L'expérience que nous avons collectivement (au sein de l'équipe économie) tirée de notre propre développement sera précieuse pour relever ce nouveau défi. Et la

possibilité d'encadrer des doctorants qu'ouvrira cette HDR offre de nouvelles perspectives de développement sur ces nouveaux thèmes comme sur celui de l'eau.

Enfin, je me dois de terminer par quelques remerciements. Lorsque je suis entré au Brgm après ma thèse, premier et seul économiste au sein d'une équipe de plus de 60 hydrogéologues, hydrogéochimistes et autres isotopistes, la perspective d'une carrière de chercheur en économie ne paraissait pas gagnée d'avance. Mais le Brgm a tenu ses promesses en soutenant avec constance le développement de la discipline au sein de l'établissement. Je remercie particulièrement Christine King, Alain Beauce, Dominique Poitrinal, Didier Pennequin, Patrick Lachassagne et Nathalie Dörfliger qui m'ont toujours accordé leur confiance. Mes remerciements vont aussi à mes collègues économistes, Stéphanie Aulong, Madjid Bouzit, Nina Graveline, Cécile Hérivaux et Laure Maton.

Sur un plan plus personnel, j'ai eu plaisir, en réalisant ce bilan, à repenser à tous ceux avec qui j'ai eu le plaisir de travailler. Ne pouvant établir une liste exhaustive, j'ai tenté de citer le nom de ceux qui avec qui j'ai coproduit les principaux résultats décrits dans les pages qui suivent. J'espère que l'utilisation du pronom personnel « je » - lié à la nature de l'exercice - ne paraîtra pas abusive à ceux que je n'ai pas cités. Mes remerciements vont particulièrement à Pierre Strosser, Patrice Garin, Bernard Barraqué et Marielle Montginoul qui, chacun à leur façon, m'ont aidé à avancer scientifiquement. Toutes mes pensées vont également à Henri Tardieu, disparu prématurément, et avec qui j'aurais beaucoup aimé pouvoir échanger à l'heure de ce bilan.

Un grand merci à Jean-Michel Salles pour sa relecture du mémoire et ses questions très pertinentes.

La préparation de ce dossier d'HDR a bénéficié du soutien du programme Carnot.

IV. Références bibliographiques

- ABDALLA, C. W., 1994 - Groundwater values from avoidance cost studies : implication for policy and futur research, *American Journal of Agricultural Economics*, 76 (1062-1067).
- ALCAMO, J., FLÖRKE, M. et MÄRKER, M., 2007 - Future long-term changes in global water resources driven by socio-economic and climatic changes, *Hydrological Sciences Journal*, 52 (2), pp.247-275.
- ANDERIES, J. M., JANSSEN, M. A., BOUSQUET, F., CARDENAS, J.-C., CASTILLO, D., LOPEZ, M.-C., TOBIAS, R., VOLLAN, B. et WUTICH, A., 2011 - The challenge of understanding decisions in experimental studies of common pool resource governance, *Ecological Economics*, 70 (9), pp.1571-1579.
- ANDREU, J., CAPILLA, J. et SANCHÍS, E., 1996 - AQUATOOL, a generalized decision-support system for water-resources planning and operational management, *Journal of Hydrology*, 177 (3–4), pp.269-291.
- AULONG, S., CHAUDHURIY, B., FARNIER, L., GALAB, S., GUERRIN, J., HIMANSHU et P., R., soumis - Are South Indian farmers adaptable to global change? A case in an Andhra Pradesh watershed, *Environmental Regional Change*.
- AULONG, S. et RINAUDO, J. D. (2008). Assessing the benefits of different groundwater protection levels: results and lessons learnt from a contingent valuation survey in the Upper Rhine valley aquifer, France. XIVth IWRA World Water Congress. IWRA. Montpellier.
- BARTOLINI, F., BAZZANI, G. M., GALLERANI, V., RAGGI, M. et VIAGGI, D., 2007 - The impact of water and agriculture policy scenarios on irrigated farming systems in Italy: An analysis based on farm level multi-attribute linear programming models, *Agricultural Systems*, 93 (1–3), pp.90-114.
- BATEMAN, I. J., DAY, B. H., GEORGIOU, S. et LAKE, I., 2006 - The aggregation of environmental benefit values: Welfare measures, distance decay and total WTP, *Ecological Economics*, 60 (2), pp.450-460.
- BATEMAN, I. J., LANGFORD, I. H., NISHIKAWA, N. et LAKE, I., 2000 - The Axford Debate Revisited: A Case Study Illustrating Different Approaches to the Aggregation of Benefits Data, *Journal of Environmental Planning and Management*, 43 (2), pp.291-302.
- BATES, B., KUNDZEWICZ, Z. W., WU, S. et PALUTIKOF, J., 2008 - Climate change and water. IPPC Technical paper VI, Geneva, IPPC Secretariat, p.
- BECKER, G. S., 1974 - A Theory of Social Interactions, *Journal of Political Economy*, 82 (6), pp.1063-1093.
- BECKER, G. S., 1982 - A theory of competition among pressure groups for political influence, *Quarterly Journal of Economics*, 98 (3), pp.371-379.
- BEN-NER, A. et PUTTERMAN, L., 2009 - Trust, communication and contracts: An experiment, *Journal of Economic Behavior & Organization*, 70 (1–2), pp.106-121.
- BERBEL, J. et GÓMEZ-LIMÓN, J. A., 2000 - The impact of water-pricing policy in Spain: an analysis of three irrigated areas, *Agricultural Water Management*, 43 (2), pp.219-238.
- BERGSTROM, J. C., BOYLE, K. J., JOB, C. A. et JO KEALY, M., 1996 - Assessing the economic benefits of ground water for environmental policy decisions, *Journal of the American Water Resources Association*, 32 (2), pp.279-291.
- BLOMQUIST, G. C. et WHITEHEAD, J. C., 1998 - Resource quality information and validity of willingness to pay in contingent valuation, *Resource and Energy Economics*, 20 (2), pp.179-196.
- BLOMQUIST, W., SCHLAGER, E. et HEIKKILA, T., 2004 - Common Waters, Diverging Streams: Linking Institutions and Water Management in Arizona, California, and Colorado, Washington DC, Resources for the Future Press, 210 p.
- BOYLE, K. J., POE, G. L. et BERGSTROM, J. C., 1994 - What Do We Know about Groundwater Values? Preliminary Implications from a Meta Analysis of Contingent-Valuation Studies, *American Journal of Agricultural Economics*, 76 (5), pp.1055-1061.
- BRADSHAW, B., DOLAN, H. et SMIT, B., 2004 - Farm-Level Adaptation to Climatic Variability and Change: Crop Diversification in the Canadian Prairies, *Climatic Change*, 67 (1), pp.119-141.
- BROUWER, R., 2000 - Environmental value transfer: state of the art and future prospects, *Ecological Economics*, 32 (1), pp.137-152.
- BROUWER, R., HESS, S., BEVAART, M. et MEINARDI, K. (2006.). The socio-economic costs and benefits of environmental groundwater threshold values in the Scheldt basin in the Netherlands. B. E. f. r. project. IVM Free University Amsterdam.
- BROUWER, R. et HOFKES, M., 2008 - Integrated hydro-economic modelling: Approaches, key issues

- and future research directions, *Ecological Economics*, 66 (1), pp.16-22.
- BURNESS, H. S. et MARTIN, W. E., 1988 - Management of a tributary aquifer., *Water Resources Research*, 24, pp.1339-1344.
- BURT, O. R., 1964 - Optimal resource use over time with an application to groundwater., *Management Science*, 11 (80-93).
- BURT, O. R., 1966 - Economic control of ground water reserves., *Journal of Farm Economics*, 48, pp.632-647.
- BURT, O. R., 1967 - Temporal allocation of groundwater, *Water Resources Research*, 3, pp.45-56.
- BURT, O. R., 1970 - Groundwater storage control under institutional restrictions, *Water Resources Research*, 6, pp.1540-1548.
- CARPENTER, S. R., BENNETT, E. M. et G.D. P., 2007 - Scenarios for Ecosystem Services: An Overview, *Ecology & Society*.
- CHEGRANI, P. (2009). Restaurer les eaux souterraines: quels coûts ? quels avantages ? Cas de la nappe de la craie de l'Artois et de la vallée de la Lys. Etudes et Documents. C. G. d. d. Durable. Paris, Ministère de l'Ecologie. 2.
- COLBY, B. G., 1990 - Transactions costs and efficiency in western water allocation, *American Journal of Agricultural Economics*, pp.1184-1192.
- DE FRAITURE, C. et WICHELS, D., 2010 - Satisfying future water demands for agriculture, *Agricultural Water Management*, 97 (4), pp.502-511.
- DE STEFANO, L. et LOPEZ-GUNN, E., 2012 - Unauthorized groundwater use: institutional, social and ethical considerations, *Water Policy*, 14 (S1), pp.147-160.
- DERESSA, T. T., HASSAN, R. M., RINGLER, C., ALEMU, T. et YESUF, M., 2009 - Determinants of farmers' choice of adaptation methods to climate change in the Nile Basin of Ethiopia, *Global Environmental Change*, 19 (2), pp.248-255.
- DESSAI, S. et HULME, M., 2007 - Assessing the robustness of adaptation decisions to climate change uncertainties: A case study on water resources management in the East of England, *Global Environmental Change*, 17 (1), pp.59-72.
- DESSAI, S., HULME, M. et LEMPET, R. (2009). Climate preiction: a limit to adaptation? . Adapting to climate change: thresholds, values, governance. N. W. Adger, I. Lorenzoni and K. L. O'Brien. Cambridge, Cambridge University Press: 64-78.
- DRAPER, A. J., JENKINS, M. W., KIRBY, K. W., LUND, J. R. et HOWITT, R. E., 2003 - Economic-Engineering Optimization for California Water Management, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 129 (3), pp.155-164.
- DUINKER, P. N. et GREIG, L. A., 2007 - Scenario analysis in environmental impact assessment: Improving explorations of the future, *Environmental Impact Assessment Review*, 27 (3), pp.206-219.
- EASAC (2010). Groundwater in the Southern Member States of the European Union. EASAC Policy reports, European Academies Science Advisory Council. 12.
- EDWARDS, S. F., 1988 - Option prices for groundwater protection, *Journal of Environmental Economics and Management*, 15, pp.475-487.
- EKELUND, R. B. et HÉBERT, R. F., 1999 - The secret origin of microeconomics: Dupuits and the French engineers, Chicago, Univerity of Chicago Press, p.
- EKELUND, R. B. et HÉBERT, R. F., 2002 - Retrospectives: The Origins of Neoclassical Microeconomics *Journal of Economic Perspectives*, 16 (3), pp.197-215.
- EL CHAMI, D., EL MOUJABBER, M. et SCARDIGNO, A., 2009 - Regional Water Balance and Economic Assessment as Tools for Water Management in Coastal Lebanon, *Water Resources Management*, 23 (11), pp.2361-2378.
- FAO (2003). Groundwater management : the search for practical approaches., FAO; UN department of Economic and social affairs; International Atomic Enery Agency; UN Educational, Scientific Cultural Organisation.
- FAYSSE, N., AL AMRANI, M., AL AYDI, S. et LAHLOU, A., 2012 - The formulation and implementation of policies to face groundwater over-use in Morroco: which supporting coalitions ?, *Irrigation and Drainage*.
- FAYSSE, N., HARTANI, T., FRIJA, A., MARLET, S., TAZEKRIT, I., ZAIRI, C. et CHALLOUF, A. (2011). Usage agricole des eaux souterraines et initiatives de gestion au Maghreb : défis et opportunités pour un usage durable des aquifères. Note Economique, Banque Africaine de Développement.
- FEENY, D., BERKES, F., MCKAY, B. J. et ACHESON, J. M., 1990 - The tragedy of the commons: twenty-two years later, *Human Ecology*, 181 (1-19).
- FORNÉS, J. M., DE LA HERA, A. et LLAMAS, M. R., 2005 - The Silent Revolution in Groundwater Intensive Use and its influence in Spain, *Water Policy*, 7 (3), pp. 253-268.
- GALLOPIN, G. C. et RIJSBERMAN, F., 2000 - Three global water scenarios, *International Journal of Water*, 1.

- GARCÍA-RUIZ, J. M., LÓPEZ-MORENO, J. I., VICENTE-SERRANO, S. M., LASANTA-MARTÍNEZ, T. et BEGUERÍA, S., 2011 - Mediterranean water resources in a global change scenario, *Earth-Science Reviews*, 105 (3-4), pp.121-139.
- GARIN, P. et LOUBIER, S., 2007 - Des associations d'irrigants se réforment en façonnant ce qu'elles trouvent juste et équitable, *Ingénieries EAT*, 49, pp.27-38.
- GARRIDO, A., MARTINEZ-SANTOS, P. et LLAMAS, R., 2006 - Groundwater irrigation and its implications for water policy in semiarid countries: the Spanish experience, *Hydrogeology Journal*, 14, pp.340-349.
- GARRIDO, A., REY, D. et CALATRAVA, J. (in press). Water trading in Spain. Book Title ?. e. Botin Foundation. Madrid, Botin Foundation.
- GHD, H. C., O'KEEFE V. (2011). A framework for managing and developing groundwater trading. Canberra, National Water Commission of the Australian Government. **52**.
- GIBBONS, J. M., RAMSDEN, S. J. et BLAKE, A., 2006 - Modelling uncertainty in greenhouse gas emissions from UK agriculture at the farm level, *Agric. Ecosyst. Environ.*, (112), pp. 347-355.
- GIORDANA, G. et MONTGINOUL, M., 2006 - Policy instruments to fight against seawater intrusion in coastal aquifers: an overview, *Vie et Milieu - Life and Environment*, 56, pp.1à 8.
- GIORDANA, G. A., MONTGINOUL, M. et WILLINGER, M. (2006). An experimental study on substitute common-pool resources in a dynamic framework: the agricultural exploitation of groundwater. Building the European Commons: from Open Fields to Open Source. International Association for the Study of Common Property (IASCP). Brescia, Italy: 27.
- GIORGI, F. et LIONELLO, P., 2008 - Climate change projections for the Mediterranean region, *Global and Planetary Change*, 63 (2-3), pp.90-104.
- GISSER, M. et SANCHEZ, D. A., 1980 - Competition versus optimal control in groundwater pumping, *Water Resources Research* 16, pp.638-642.
- GODET, M. et ROUBELAT, F., 1996 - Creating the future: the use and misuse of scenarios, *Long Range Planning*, 29 (2), pp.164-171.
- GRAFTON, Q. et HUSSEY, K. (2006). Buying Back the Living Murray: At What Price? Economics and Environment Network Working Paper. Canberra, Australian National University. **EEN0606**.
- GROVES, D. G., LEMPET, R. J., KNOPMAN, D. et BERRY, S. H. (2008). Preparing for an uncertain future climate in the Inland Empire. Identifying robust water-management strategies. Santa Monica, CA, RAND Corporation.
- HAMMANI, A., HARTANI, T., KUPER, M. et IMACHE, A., 2009 - Paving the way for groundwater management: Transforming information for crafting management rules, *Irrigation and Drainage*, 58 (S3), pp.S240-S251.
- HANAK, E. (2010). California's Water Market: Lessons from the Field. Permit trading in different applications. B. Hansjürgens, R. Antes and M. Strunz. London, Routledge.
- HANSEN, K., HOWITT, R. et WILLIAMS, J., 2008 - Valuing Risk: Options in California Water Markets, *American Journal of Agricultural Economics*, 90 (5), pp.1336-1342.
- HANSEN, K., KAPLAN, J. et KROLL, S. (2008). Valuing Options in Water Markets: A Laboratory Investigation, Colorado State University DARE **Working Paper 001-08**.
- HARDIN, G., 1968 - The Tragedy of the Commons, *Science* 162 (3859), pp.1243-1248.
- HAROU, J. J., PULIDO-VELAZQUEZ, M., ROSENBERG, D. E., MEDELLÍN-AZUARA, J., LUND, J. R. et HOWITT, R. E., 2009 - Hydro-economic models: Concepts, design, applications, and future prospects, *Journal of Hydrology*, 375 (3-4), pp.627-643.
- HASHIMOTO, T., STEDINGER, J. R. et LOUCKS, D. P., 1982 - Reliability, resiliency, and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation, *Water Resour. Res.*, 18 (1), pp.14-20.
- HATZILACOU, D., KALLIS, G., MEXA, A., COCCOSIS, H. et SVORONOU, E., 2007 - Scenario workshops : a useful for participatory water resources planning ?, *Water resources research*, 43, pp.1 à 12.
- HEINZ, I., PULIDO-VELAZQUEZ, M., LUND, J. et ANDREU, J., 2007 - Hydro-economic Modeling in River Basin Management: Implications and Applications for the European Water Framework Directive, *Water Resources Management*, 21 (7), pp.1103-1125.
- HERIVAUX, C. (2011). Economic analysis applied to groundwater degradation due to contaminated site: public perception and willingness to pay for RWM073 groundwater quality improvement. Orleans, BRGM. **RP 59800-FR**.
- HOTELLING, H., 1931 - The economics of exhaustible resources, *Journal of Political Economy*, 39 (2).
- HOWE, C. W., 2002 - Policy issues and institutional impediments in the management of groundwater : lessons from case studies, *Environnement & Développement Economics*, 7, pp.625 à 641.

- IOANNIDIS, J. P. A., 2011 - Fund people not projects, *Nature*, 277, pp.529-531.
- JORDAN, J. L. et ELNAGHEEB, A. H., 1993 - Willingness to pay for improvements in drinking water quality, *Water Resour. Res.*, 29 (2), pp.237-245.
- KAHN, H. et WIENER, A. J., 1967 - The year 2000 : a framework for speculation of the next 33 years. , New York. , Macmillan, p.
- KAISER, R. et PHILLIPS, L. M., 1998 - Dividing the Waters: Water Marketing as a Conflict Resolution Strategy in the Edwards Aquifer Region, *Natural Resources Journal*, 38.
- KÄMÄRI, J., ALCAMO, J., BÄRLUND, I., DUEL, H., FARQUHARSON, F., FLÖRKE, M., FRY, M., HOUGHTON-CARR, H., KABAT, P., KALJONEN, M., KOK, K., MEIJER, K. S., REKOLAINEN, S., SENDZIMIR, J., VARJOPURO, R. et VILLARS, N., 2008 - Envisioning the future of water in Europe – the SCENES project, *E-Water*.
- KIRAT, T. et TORRE, A., 2007 - Quelques points de repères pour évaluer l'analyse des conflits dans les théories économiques, avec une emphase particulière sur la question spatiale, *Géographie, économie, société*, 9, pp.215-240.
- KOSCIUSKO-MORIZET, N., LAMOTTE, H. et RICHARD, V., 1998 - Que peut on attendre de la mise en place de quotas individuels échangeables de prélèvement sur la ressource en eau en France ? L'exemple de l'agriculture irriguée., *Direction de la Prévision*, pp.1 à 29.
- KOUNDOURI, P., 2004 - Potential for groundwater management: Gisser-Sanchez effect reconsidered, *Water Resources Research*, 40 (13).
- KRUEGER, A. O., 1974 - The political economy of the rent-seeking society, *American Economic Review*, 64 (3), pp.291-303.
- LAFITTE, J.-J., DEVOS, P. et PORTET, P. (2008). Les organismes uniques d'irrigation. Paris, Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire, Ministère de l'agriculture et de la pêche.
- LAKE, P. S. et BOND, N. R., 2007 - Australian futures: Freshwater ecosystems and human water usage, *Futures*, 39 (2-3), pp.288-305.
- LAZO, J. K., SCHULZE, W. D., MCCLELLAND, G. H. et DOYLE, J. K., 1992 - Can Contingent Valuation Measure Nonuse Values?, *American Journal of Agricultural Economics*, 74 (5), pp.1126-1132.
- LEFEBVRE, M., 2011 - Mécanismes d'allocation de l'eau d'irrigation et gestion du risque sécheresse en agriculture, Montpellier, SupAgro, p.
- LENOUVEL, V. et MONTGINOUL, M., 2010 - Groundwater Management Instruments in a Conjunctive Use System: assessing the Impact on Farmers' Income Using a Mixed Integer Linear Programming (MILP) *German Journal of Agricultural Economics*, 59 (3), pp.158-172.
- LENOUVEL, V., MONTGINOUL, M. et THOYER, S. (2011). From a blind truncheon to a one-eyed stick: testing in the lab an optional target-based mechanism adapted to groundwater withdrawal. Conference of the European Association of Environmental and Resource Economists. Rome, Italy: 23.
- LIENERT, J., MONSTADT, J. et TRUFFER, B., 2006 - Future Scenarios for a Sustainable Water Sector: A Case Study from Switzerland, *Environmental Science & Technology*, 40 (2), pp.436-442.
- LLAMAS, M. R. et MARTINEZ-SANTOS, P., 2005 - Intensive groundwater use: silent revolution and potential source of social conflicts, *Journal of Water Resources Planning and Management*, pp.237 - 341. .
- LOPEZ-GUNN, E., 2003 - The role of collective action in water governance: a comparative study of groundwater user associations in La Mancha Aquifer in Spain, *Water International*, 28, pp.367-378.
- LOPEZ-GUNN, E. et CORTINA, L., 2006 - Is self-regulation a myth? Case study on Spanish groundwater user associations and the role of higher-level authorities, *Hydrogeology Journal*, 14 (3), pp.361-379.
- MARIOTTI, A., ZENG, N., YOON, J.-H., ARTALE, V., NAVARRA, A., ALPERT, P. et LI, L. Z. X., 2008 - Mediterranean water cycle changes: transition to drier 21st century conditions in observations and CMIP3 simulations, *Environmental Research Letters*, 3 (4), pp.044001.
- MEDELLÍN-AZUARA, J., MENDOZA-ESPINOSA, L. G., LUND, J. R., HAROU, J. J. et HOWITT, R. E., 2009 - Virtues of simple hydro-economic optimization: Baja California, Mexico, *Journal of Environmental Management*, 90 (11), pp.3470-3478.
- MICHELSSEN, A. M. et YOUNG, R. A., 1993 - Optioning Agricultural Water Rights for Urban Water Supplies During Drought, *American Journal of Agricultural Economics*, 75 (4), pp.1010-1020.
- MILLETT, S. M., 1988 - How scenarios trigger strategic thinking, *Long Range Planning*, 21 (5), pp.61-68.
- MIRALDO ORDENS, C., BERTIN, S., BROUWER, R. et CONDESSO MELO, T. (2006). Assessing the costs and benefits of groundwater quality improvements in the Aveiro Quaternary Aquifer in Portugal. BRIDGE EU funded research project.

- MUKHERJI, A. et SHAH, T., 2005 - Groundwater socio-ecology and governance: a review of institutions and policies in selected countries, *Hydrogeology Journal*, 13 (1), pp.328-345.
- MURPHY, J. J., DINAR, A., HOWITT, R. E., RASSENTI, S. J., SMITH, V. L. et WEINBERG, M., 2009 - The design of water markets when instream flows have value, *Journal of Environmental Management*, 90 (2), pp.1089-1096.
- NAKICENOVIC, N. et SWART, R. (2000). Emissions Scenarios. A Special Report of Working Group II of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC: 570.
- NEWLIN, B. D., JENKINS, M. W., LUND, J. R. et HOWITT, R. E., 2002 - Southern California Water Markets: Potential and Limitations, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 128 (1), pp.21-32.
- NHEMACHENA, C. et HASSAN, R. M. (2007). Micro-Level Analysis of Farmers' Adaptation to Climate Change in Southern Africa. Discussion Paper. Washington DC, IFPRI. **00714**.
- OHISSON, L., 2000 - Water conflicts and social resource scarcity, *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere*, 25 (3), pp.213-220.
- ORR, A. et MWALE, B., 2001 - Adapting to Adjustment: Smallholder Livelihood Strategies in Southern Malawi, *World Development*, 29 (8), pp.1325-1343.
- OSTROM, E., 1990 - Governing the commons: the evolution of institutions for collective action, Cambridge, Cambridge University Press, p.
- OSTROM, E., 1992 - Crafting institutions for self-governing irrigation systems, San Francisco, 111 p.
- OSTROM, E., 2000 - Collective action and the evolution of social norms, *Journal of Economic Perspectives*, 14 (3), pp.137-158.
- OSTROM, E. et GARDNER, R., 1993 - Coping with asymmetries in the commons: self-governing irrigation systems can work, *Journal of Economic Perspectives*, 7 (4), pp.93-112.
- PAKALNIETE, K., BOUSCASSE, H. et STROSSER, P. (2006). Assessing socio-economic impacts of different groundwater protection regimes, Latvian case study report. BRIDGE EU funded research project, ACTEON.
- PATEL, M., KOK, K. et ROTHMAN, D. S., 2007 - Participatory scenario construction in land use analysis: An insight into the experiences created by stakeholder involvement in the Northern Mediterranean, *Land Use Policy*, 24 (3), pp.546-561.
- PETERSON, G. D., CUMMING, G. S. et CARPENTER, S. R., 2003 - Scenario Planning: a Tool for Conservation in an Uncertain World, *Conservation Biology*, 17 (2), pp.358-366.
- POUX, X. C., 2006 - Agriculture, environnement et territoires: quatre scénarios à l'horizon 2025, Paris, La Documentation Française, p.
- PRESS et SÖDERQVIST, T. (1998). On estimating the benefits of groundwater protection : a contingent valuation study in Milan. Regulating chemical accumulation in the environment: the integration of toxicology and economics in environmental policy making. T. Swanson and M. Vighi. Cambridge, Cambridge University Press: 278.
- PRISCOLI, J. D. et WOLF, A. T., 2009 - Managing and transforming water conflicts, Cambridge University Press, p.
- PULIDO-VELAZQUEZ, M., ANDREU, J. et SAHUQUILLO, A., 2006 - Economic Optimization of Conjunctive Use of Surface Water and Groundwater at the Basin Scale, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 132 (6), pp.454-467.
- PULIDO-VELAZQUEZ, M., ANDREU, J., SAHUQUILLO, A. et PULIDO-VELAZQUEZ, D., 2008 - Hydro-economic river basin modelling: The application of a holistic surface-groundwater model to assess opportunity costs of water use in Spain, *Ecological Economics*, 66, pp.51-65.
- QUEVAUVILLER, P., 2008 - From the 1996 groundwater action programme to the 2006 groundwater directive - what have we done, what have we learnt, what is the way ahead ?, *Journal of Environmental Monitoring*, 10, pp.408-421.
- RAFFENSPERGER, J. F., MILKE, M. W. et READ, E. G., 2009 - A Deterministic Smart Market Model for Groundwater, *Operational Research*, 57, pp.1333-1346.
- REED, M. S., ARBLASTER, K., BULLOCK, C., BURTON, R. J. F., DAVIES, A. L., HOLDEN, J., HUBACEK, K., MAY, R., MITCHLEY, J., MORRIS, J., NAINGGOLAN, D., POTTER, C., QUINN, C. H., SWALES, V. et THORP, S., 2009 - Using scenarios to explore UK upland futures, *Futures*, 41 (9), pp.619-630.
- RINAUDO, J.-D. (2008). Assessing the benefits of groundwater protection. A Case study in the Rhine district, France. AQUAMONEY project Report Orléans, BRGM.
- ROSE, C. M. (2002). Common Property, Regulatory Property, and Environmental Protection: Comparing Common Pool Resources to Tradable Environmental Allowances. The drama of the commons. E. Ostrom, T. Dietz, N. Dolsak, P. C. Stern, S. Stonich and E. U.

- Weber. Washington, DC, National Academy Press: 233-257.
- ROTMANS, J., VAN ASSELT, M., ANASTASI, C., GREEUW, S., MELLORS, J., PETERS, S., ROTHMAN, D. et RIJKENS, N., 2000 - Visions for a sustainable Europe, *Futures*, 32 (9-10), pp.809-831.
- ROZAN, A., STENGER, A. et WILLINGER, M., 1997 - Valeur de préservation de la qualité de l'eau souterraine : une comparaison entre usagers et non-usagers, *Cahiers d'Economie et Sociologie Rurales*, 45, pp.62-92.
- SCHLAGER, E., 2006 - Challenges of governing groundwater in U.S. western states, *Hydrogeology Journal*, 14 (3), pp.350-360.
- SCHLAGER, E. (2007). Community management of groundwater. The agricultural Groundwater revolution: opportunities and threat to development. G. M. a. V. K.G. Oxford, CAB International.
- SCHLAGER, E. et LOPEZ-GUNN, E. (2008). Collective systems for water management: is the Tragedy of the Commons a myth? Water Crisis: Myth or Reality? Rogers et al. (eds.). The Netherlands, Balkema Publishers.
- SCOTT, C. A. et SHAH, T., 2004 - Groundwater Overdraft Reduction through Agricultural Energy Policy: Insights from India and Mexico, *Water Resources Development*, 20 (2), pp.149-164.
- SEGERSON, K., 1988 - Uncertainty and incentives for nonpoint pollution control, *Journal of Environmental Economics and Management*, 15 (1), pp.87-98.
- SEGUIN, B., 2003 - Adaptation des systèmes de production agricole au changement climatique Adaptation of agricultural production systems to climatic change, *Comptes Rendus Geosciences*, 335 (6-7), pp.569-575.
- SHAH, T. (2007). The Groundwater Economy of South Asia: An Assessment of Size, Significance and Socio-ecological Impacts. The Agricultural Groundwater Revolution: Opportunities and Threats to Development. M. Giordano and K. G. Villholth, CAB International.
- SHAH, T., 2008 - Taming the anarchy: groundwater governance in south Asia, Washington D.C. , Resources for the Future, p.
- SHAH, T., DEB ROY, A., QURESHI, A. S. et WANG, J., 2003 - Sustaining Asia's Groundwater Boom: An Overview of Issues and Evidence, *Natural Resources Forum*, 27, pp.130-140.
- SHAH, T., GIORDANO, M. et MUKHERJI, A., 2012 - Political economy of the energy-groundwater nexus in India: exploring issues and assessing policy options, *Hydrogeology Journal*, pp.1-12.
- SHAH, T., MOLDEN, D., SAKTHIVADIVEL, R. et SECKLER, D., 2000 - The Global Groundwater Situation - Overview of Opportunities and Challenges, Colombo, Sri Lanka, International Water Management Institute, p.
- SHAH, T., SINGH, O. et MUKHERJI, A., 2006 - Some aspects of South Asia's groundwater irrigation economy: analyses from a survey in India, Pakistan, Nepal Terai and Bangladesh, *Hydrogeology Journal*, 14 (3), pp.286-309.
- SHORTLE, J. S. et HORAN, R. D., 2001 - The Economics of Nonpoint Pollution Control, *Journal of Economic Surveys* 15 (3), pp.255-289.
- SKURRAY, J. H., ROBERTS, E. J. et PANNELL, D. J., 2011 - Hydrological challenges to groundwater trading: Lessons from south-west Western Australia. , *Journal of Hydrology*.
- SLOVIC, P., 1995 - The construction of preference *American Psychologist*, 50 (5), pp.364-371.
- STENGER, A. et WILLINGER, M., 1998 - Preservation value for groundwater quality in a large aquifer: a contingent valuation study of the Asiatian aquifer, *Journal of Environmental Management*, 53, pp.177 - 193.
- STREET, P., 1997 - Scenario workshops: A participatory approach to sustainable urban living?, *Futures*, 29 (2), pp.139-158.
- STROSSER, P. et BOUSCASSE, H. (2006). Assessing socio-economic impacts of different groundwater protection regimes, Slovenian case study report. BRIDGE EU funded research project, ACTEON.
- STROSSER, P. et MONTGINOUL, M., 2001 - Vers des marchés de l'eau en France ? Quelques éléments de réflexion, *Annales des Mines, Responsabilité et Environnement*, 23, pp.13-31.
- SUNDING, D., 2000 - Market-based strategies are needed to cope with scarcity., *California Agriculture*, , 54, pp.56-63. .
- SYME, G. J., NANCARROW, B. E. et MCCREDDIN, J. A., 1999 - Defining the components of fairness in the allocation of water to environmental and human uses, *Journal of Environmental Management*, 57 (1), pp.51-70.
- TANAKA, S., ZHU, T., LUND, J., HOWITT, R., JENKINS, M., PULIDO, M., TAUBER, M., RITZEMA, R. et FERREIRA, I., 2006 - Climate Warming and Water Management Adaptation for California, *Climatic Change*, 76 (3), pp.361-387.
- TENTES, G. et DAMIGOS, D., 2012 - The Lost Value of Groundwater: The Case of Asopos River Basin in

- Central Greece, *Water Resources Management*, 26 (1), pp.147-164.
- THEESFELD, I. (2008). A review on national groundwater policy instruments - grasping institutional aspects for transboundary groundwater governance. *IASC 2008*. Yokohama, Japan.
- THOMPSON, C. L., SUPALLA, R. J., MARTIN, D. L. et AL, E., 2009 - Evidence Supporting Cap and Trade as a Groundwater Policy Option for Reducing Irrigation Consumptive Use, *J. Am. Water Resour. Assoc.*, 45 (1), pp.1508-1518.
- TOELL, A., LIBBIN, J. et MILLER, M., 1990 - The market value of water in the Ogallala aquifer, *Land Economics*, 66 (2), pp.163-175.
- TOMKINS, C. et WEBER, T., 2010 - Option contracting in the California water market, *Journal of Regulatory Economics*, 37 (2), pp.107-141.
- TRAVERS, H., CLEMENTS, T., KEANE, A. et MILNER-GULLAND, E. J., 2011 - Incentives for cooperation: The effects of institutional controls on common pool resource extraction in Cambodia, *Ecological Economics*, 71 (0), pp.151-161.
- TSUR, Y. et GRAHAM-TOMASI, T., 1991 - The buffer value of groundwater with stochastic surface water supplies, *Journal of Environmental Economics and Management*, 21 (3), pp.201-224.
- TSUR, Y. et ZEMEL, A., 1995 - Uncertainty and irreversibility in groundwater resource management., *Journal of Environmental Economics and Management*, 29, pp.149-161.
- TSUR, Y. et ZEMEL, A., 2004 - Endangered aquifers : groundwater management under threats of catastrophic events, *Water resources research*, 40.
- VAN DER HELM, R., 2003 - Challenging futures studies to enhance EU's participatory river basin management, *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 28 (12-13), pp.563-570.
- VAN STEENBERGEN, F., 2006 - Promoting local management in groundwater, *Hydrogeology Journal*, 14 (3), pp.380-391.
- VENKATACHALAM, L., 2004 - The contingent valuation method: a review, *Environmental Impact Assessment Review*, 24 (1), pp.89-124.
- VLACHOS, E., 1990 - Prologue: water peace and conflict management, *Water International*, 15 (4), pp.185-188.
- WEI, Y., DAVIDSON, B., CHEN, D., WHITE, R., LI, B. et ZHANG, J., 2007 - Can Contingent Valuation be Used to Measure the in Situ Value of Groundwater on the North China Plain?, *Water Resources Management*, 21 (10), pp.1735-1749.
- WESTCOTT, R., 2004 - A scenario approach to demand forecasting, *Water Science & technology*, 4 (3), pp.45-55.
- YARN, D. H. (1999). Dictionary of conflict resolution. San Francisco, Jossey-Bass Inc.

V. Tirés à part

- Aulong S et RINAUDO JD (en cours) Is it worth decontaminating groundwater? Lessons from a cost-benefit analysis in a French case study. Document de travail. Soumis à J. of Environmental Management
- Graveline, N., S. Loubier, G. Gleyses, and J.-D. RINAUDO. (2012). Impact of farming on water resources: assessing uncertainty with Monte Carlo simulations in a global change context. *Agricultural Systems*.
- RINAUDO, J.-D., M. Montginoul, M. Varanda, and S. Bento. (2012, sous presse). Envisioning innovative groundwater regulation policies through scenario workshops in France and Portugal. *Irrigation and Drainage*.
- RINAUDO JD, Neverre N and Montginoul M (2012). Simulating the impact of pricing policies on urban water demand: a Southern France case study. *Water Resources Management*.
- Montginoul M and RINAUDO JD (2011). Controlling Households' Drilling Fever in France: an economic modelling approach. *Ecological Economics*. Vol 71 : 140-150.
- Graveline, N., RINAUDO J-D, Loubier S., et Segger V. (2009). Scénarios d'évolution à long terme de la pollution des eaux souterraines par les nitrates : une approche par couplage de modèles dans le bassin du Rhin supérieur. *Economie Rurale*. 310: 22-39
- Montginoul M., et RINAUDO J-D. (2009) Quels instruments pour gérer les prélèvements en eau souterraine ? *Economie Rurale*. 310: 40-56
- RINAUDO J-D. (2008) Assessing the benefits of groundwater protection. A case study in the Rhine District, France. Research report, AQUAMONEY project. Accessible à : http://www.aquamoney.org/sites/download/D37_Case_study_report_Rhine_France.pdf
- RINAUDO J-D., Arnal C., Blanchin R., Elsass P., Mailhac A., Loubier S. (2005) Assessing the cost of groundwater pollution: the case of diffuse agricultural pollution in the Upper Rhine valley aquifer, *Water Science and technology*, Vol. 52 (9) - pp. 153-162
- RINAUDO.J-D., Garin.P. (2005) The benefits of combining lay and expert knowledge for water management planning at the watershed level., *Water Policy*, Vol 7, p. 279-293
- Azam J-P et RINAUDO J-D. (2004) Encroached entitlements: corruption and appropriation of irrigation water in Southern Punjab (Pakistan). IDEI working paper N 252. Toulouse. Accessible à : <http://neeo.univ-tlse1.fr/1625/>
- RINAUDO.J.D. (2002) Corruption and water allocation: the case of public irrigation in Pakistan, *Water Policy*, Vol. 4 - pp. 405-422.
- RINAUDO.J.D., Strosser. P. and Thoyer S. (2000) Distributing water or rents ? examples from a public irrigation system in Pakistan, *Canadian Journal of Development Studies*, Vol. 21, pp. 113-139.