



HAL
open science

Conception et évaluation d'instruments de gestion de l'eau combinant incitations économiques et préférences sociales - Cas des prélèvements agricoles en eau souterraine

Anne-Gaëlle Figureau

► **To cite this version:**

Anne-Gaëlle Figureau. Conception et évaluation d'instruments de gestion de l'eau combinant incitations économiques et préférences sociales - Cas des prélèvements agricoles en eau souterraine. Economies et finances. Montpellier SupAgro, 2015. Français. NNT : . tel-01243061

HAL Id: tel-01243061

<https://theses.hal.science/tel-01243061>

Submitted on 14 Dec 2015

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial 4.0 International License

THÈSE

Pour obtenir le grade de
Docteur

Délivré par **MONTPELLIER SUPAGRO**

Préparée au sein de l'école doctorale Economie Gestion de
Montpellier,
de l'unité de recherche G-EAU et du BRGM
Spécialité : **SCIENCES ECONOMIQUES**

Présentée par **Anne-Gaëlle FIGUREAU**

**CONCEPTION ET EVALUATION
D'INSTRUMENTS DE GESTION DE L'EAU COMBINANT
INCITATIONS ECONOMIQUES ET PREFERENCES SOCIALES
Cas des prélèvements agricoles en eau souterraine**

Soutenue le 28 mai 2015 devant le jury composé de

M. Alexis GARAPIN, Maître de Conférences, INRA UMR GAEL	Rapporteur
M. Olivier GUYADER, Chercheur, IFREMER	Rapporteur
M. Xavier LEFLAIVE, Chercheur, OCDE	Membre invité
Mme Marielle MONTGINOUL, Directrice de recherche, Irstea	Directrice de thèse
M. Jean-Daniel RINAUDO, Chercheur, Brgm	Encadrant de thèse
M. Jean-Michel SALLES, Directeur de recherche, CNRS	Examinateur, Président du Jury

THÈSE

Pour obtenir le grade de
Docteur

Délivré par **MONTPELLIER SUPAGRO**

Préparée au sein de l'école doctorale Economie Gestion de
Montpellier,
de l'unité de recherche G-EAU et du BRGM
Spécialité : **SCIENCES ECONOMIQUES**

Présentée par **Anne-Gaëlle FIGUREAU**

**CONCEPTION ET EVALUATION
D'INSTRUMENTS DE GESTION DE L'EAU COMBINANT
INCITATIONS ECONOMIQUES ET PREFERENCES SOCIALES
Cas des prélèvements agricoles en eau souterraine**

Soutenue le 28 mai 2015 devant le jury composé de

M. Alexis GARAPIN, Maître de Conférences, INRA UMR GAEL	Rapporteur
M. Olivier GUYADER, Chercheur, IFREMER	Rapporteur
M. Xavier LEFLAIVE, Chercheur, OCDE	Membre invité
Mme Marielle MONTGINOUL, Directrice de recherche, Irstea	Directrice de thèse
M. Jean-Daniel RINAUDO, Chercheur, Brgm	Encadrant de thèse, membre invité
M. Jean-Michel SALLES, Directeur de recherche, CNRS	Examinateur



Le Centre International d'Etudes Supérieures en Sciences Agronomiques (Montpellier SupAgro) n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans cette thèse ; elles doivent être considérées comme propres à son auteur.

Remerciements

Mes plus vifs remerciements vont en premier lieu au duo formé par Marielle Montginoul, ma directrice, et Jean-Daniel Rinaudo, mon encadrant, qui se sont si justement complétés dans l'encadrement de mon travail de thèse. Je remercie Marielle de m'avoir montré, à sa manière, que rien ne sert de courir, il faut travailler avec constance. Je remercie Jean-Daniel d'avoir instauré un climat de travail franc et productif. Merci à tous les deux de m'avoir transmis le goût du terrain et du contact avec les acteurs locaux. Je vous suis reconnaissante pour la confiance que vous m'avez accordée, les innombrables conseils que vous m'avez apportés et la passion dont vous faites preuve dans votre travail et que vous vous êtes attachés à me transmettre. Merci de ne m'avoir jamais laissée sortir de vos bureaux sans un sourire aux lèvres et un millier d'idées.

Je souhaite ensuite remercier les institutions et financeurs: d'une part, les deux instituts de recherche, Irstea et le Brgm, qui m'ont accueillie chacun leur tour et qui ont conjointement financé ce travail de thèse dans le cadre de leurs programmes Carnot, et d'autre part, l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse qui a financé les expériences d'économie.

J'exprime ma gratitude envers les membres de mon comité de thèse, qui m'ont suivie, critiquée et orientée : Stefano Farolfi, Patrice Garin, Sébastien Loubier, Jean-Christophe Maréchal, Olivier Petit et Sophie Thoyer. Merci Stefano pour tes relectures et tes éclairages précieux en économie expérimentale. Merci Sophie d'avoir, un jour de septembre 2011, évoqué mon nom auprès de Marielle et Jean-Daniel. Merci Patrice d'avoir su trouver les mots pour calmer l'ardeur des agriculteurs.

De même, j'ai une pensée pour Cécile Hérivaux, avec qui j'ai eu le plaisir de partager l'aventure picarde. En somme, un grand merci à l'ensemble des membres des équipes de l'UMR G-EAU et du Brgm, avec qui j'ai pu avoir des échanges ayant trait de près ou de loin à mon sujet : nos discussions, quelles qu'elles furent, ont nourri ma réflexion.

Merci enfin à l'ensemble des personnes qui ont facilité le déroulement de mon travail de thèse, en particulier pour les détails d'ordre logistique et technique sur le terrain : Dimitri au LEEM, Virginie, Carmen, Sophie et Irène à Irstea. Merci à mes cobayes de s'être torturé les méninges sur mon

protocole expérimental : Nicolas Paget, Mathieu Désolé, Philippe Le Coënt, Bruno Bonté et Stefano Farolfi.

Enfin, un très grand merci à l'ensemble des experts, institutionnels, professionnels, agriculteurs, techniciens, irrigants, non irrigants, associatifs, etc., des bassins du Clain, du Tarn-et-Garonne, de la plaine de Valence, de l'Est Lyonnais et du bassin de la Serre, qui se sont investis dans notre démarche, ont contribué à la richesse des ateliers et participé aux expériences. Ils ont produit la précieuse matière que j'ai cherché à mettre en valeur dans la présente thèse. J'espère que dans le futur m'attendent des rencontres aussi riches en apprentissages personnels et professionnels que ceux qu'ils m'ont offerts.

Merci à l'ensemble des chercheurs, ingénieurs et personnels de mes laboratoires d'accueil pour avoir permis que ma thèse se déroule dans une ambiance de franche camaraderie. Une pensée toute joyeuse au gang du bureau 10. Claire, Marine : un très très gros merci pour ces innombrables fous-rires, ces conversations interminables, ces murs revisités et ces vendredis chantés. J'ai une pensée émue pour notre fertile et abondante Florette, dont la vie prometteuse a été brutalement emportée par les eaux du Lez. Que vive encore longtemps la folie du bureau 10 ! Merci aussi à tous ceux qui ont rendu mon quotidien professionnel stimulant et joyeux : Bruno, Claire, Fred, Gérard, Hind, Jean, Louisa, Mattia, Myriam, Nancy, Nicolas, Pancho, Pauline, Rami, Sarra à Irstea ; Amandine, Clémence, Ségolène et Talita au Brgm. D'une certaine façon, je me dois de remercier Vincent Lenouvel, ce soldat inconnu et pourtant si souvent invoqué.

Un merci qui ne sera jamais assez grand à tous mes amis qui ont fait de cette prolongation de l'aventure montpelliéraine une parenthèse heureuse : Audrey et Emilie, vétérans de la dream team d'un PEI dont je tairai le nom ; le trio Charles-Julian-Sylvain qui m'ont supportée, souvent contre leur volonté et se sont vengés par des débats sans queue ni tête ; Thibaut, que je salue pour avoir gagné la course haut la main ; et enfin le troupeau de manchots qui m'a adoptée et parmi lesquels je remercie particulièrement Hélène, ma coloc' de la « dernière ligne droite », qui a su m'insuffler un air de fashion superficialité, salvateur entre deux chapitres.

Merci aux amis, qui, malgré la distance, m'ont permis de venir à bout de ce travail. Une petite pensée pour mes amies d'A2D2, qui ont poursuivi, comme moi, l'aventure de la recherche: Insaf et

Inès. Je ne serais pas une pétrelle si je ne mentionnais pas ici l'épique et fameux Groupe des Six (en tournée prochainement). Enfin, merci Yace, merci Hankie de me ramener à la vie, la vraie.

Mes plus tendres pensées vont évidemment à ma famille. A mes frères d'abord, Ismaël et Florian : merci d'avoir fait semblant de comprendre, et bon courage à vous pour renouveler votre stock de railleries maintenant que ma vie étudiante est terminée. Et enfin, que serais-je aujourd'hui sans mes parents, qui n'ont pas cherché à comprendre, qui m'ont laissé chercher, et qui restent mes modèles parce que, eux, ont trouvé.

Oserais-je ici évoquer Toplat ? Si tu y es pour quelque chose, tâche d'inspirer tout autant les petites mains dans lesquelles tu passes aujourd'hui.

SOMMAIRE

Introduction	19
CHAPITRE 1 Conception de deux instruments pour réguler les prélèvements agricoles en nappe	27
1. Problématique et objectifs des instruments.....	28
2. Instruments pour la régulation des prélèvements dans une ressource commune : un état de l'art	31
3. Instruments de régulation n°1 : le bonus-malus.....	37
4. Instrument de régulation n°2 : le contrat solidaire.....	45
CHAPITRE 2 Méthodologie d'évaluation des instruments	53
1. Objectifs de l'évaluation et choix méthodologiques généraux.....	54
2. Evaluation par l'approche de prospective participative	58
3. Approche expérimentale.....	62
4. Une démarche répliquée sur 5 terrains d'étude	68
CHAPITRE 3 Evaluation des instruments par une méthode participative	77
1. Méthodologie des ateliers.....	78
2. Résultats par instrument.....	87
3. Conditions locales favorisant la mise en œuvre des instruments.....	101
4. Retour sur les hypothèses de comportements	113
CHAPITRE 4 Evaluation des instruments par l'économie expérimentale	117
1. Le jeu : extraction d'une ressource commune par des préleveurs hétérogènes et instrument de régulation	118
2. Prédications théoriques	127
3. Procédure expérimentale.....	135
4. Résultats	140
5. Discussion	163
DISCUSSION - CONCLUSION	169
1. Implications en termes de politiques publiques	169
2. Apport méthodologique de la thèse	174
3. Perspectives de recherche	178
Références bibliographiques	181
Annexes	189

TABLES DES FIGURES

Figure 1 - 1 : Différentes approches de régulation de l'usage d'une ressource commune et positionnement choisi.....	29
Figure 1 - 2 : Mécanismes économiques du bonus-malus.....	38
Figure 1 - 3 : Fonction de profit d'un agriculteur pour une culture en fonction de l'apport en eau.....	39
Figure 1 - 4 : Fonction de profit d'un agriculteur suite à l'application du malus.....	39
Figure 1 - 5 : Fonction de profit d'un agriculteur avec application d'un bonus.....	40
Figure 1 - 6 : Deux cas de figure qui vont inciter l'agriculteur à choisir la stratégie malus.....	43
Figure 1 - 7 : Deux cas de figure qui vont inciter l'agriculteur à choisir la stratégie bonus.....	44
Figure 1 - 8 : Fonctions de profit de l'agriculteur i dans et hors contrat.....	47
Figure 1 - 9 : Mécanismes du contrat solidaire	50
Figure 2 - 1 : Méthodologie adoptée pour l'évaluation des instruments et apports respectifs des deux approches participative et expérimentale	58
Figure 2 - 2 : Processus et critères de sélection des terrains.....	70
Figure 2 - 3 : Terrains d'étude de la thèse, type de ressource souterraine et principales productions agricoles	71
Figure 3 - 1 : Exemple d'articles de presse fictifs envoyés aux participants	79
Figure 3 - 2 : Succession des scénarios telle que présentée dans les ateliers	80
Figure 3 - 3: Photographies des ateliers.	83
Figure 3 - 4 : Distribution des affirmations dans les trois catégories (pour, neutre et contre) pour chaque scénario.	87
Figure 3 - 5 : Affirmations favorables et défavorables aux scénarios en fonction du critère d'évaluation : efficacité, acceptabilité et faisabilité.....	88
Figure 3 - 6 : Distribution des affirmations selon les dimensions abordées, par scénario.....	89
Figure 3 - 7 : Opinions des participants quant à l'efficacité du bonus-malus - Source : questionnaires individuels	90
Figure 3 - 8 : Opinion des participants quant à l'efficacité du contrat solidaire	96
Figure 3 - 9 : Opinions des participants issues des débats et des questionnaires individuels concernant le bonus-malus, par terrain d'étude	102
Figure 3 - 10 : Opinions des participants issues des débats et des questionnaires individuels concernant le contrat solidaire, par terrain d'étude	103
Figure 4 - 1 : Courbes de profit des deux types d'agriculteurs (année climatique moyenne)	120
Figure 4 - 2 : Courbes de profit de l'agriculteur B pour 3 années climatiques différentes.....	121
Figure 4 - 3 : Déroulement d'une période de jeu	122
Figure 4 - 4 : Courbes de profit de l'agriculteur B dans le contrat (T2 – En contrat) et hors contrat (équivalente à la courbe en T0)	123

Figure 4 - 5 : Fonctions de profit utilisées dans le jeu (année moyenne)	126
Figure 4 - 6 : Situation ressource-préleveurs.....	126
Figure 4 - 7 : Courbes de profit dans le traitement T1 (Bonus-Malus) en année climatique moyenne. Au-delà du volume autorisé, la courbe de profit décroît plus vite que dans le traitement de contrôle T0 car chaque unité coûte 10 écus.....	128
Figure 4 - 8 : Déroulement d'une session expérimentale. L'ordre des traitements T1 et T2 est inversé pour deux des cinq sessions en laboratoire.....	137
Figure 4 - 9 : Photographies de 4 sessions expérimentales sur le terrain	139
Figure 4 - 10 : Distribution des prélèvements des agriculteurs A, B et des groupes (2A+B) au cours du temps dans le traitement de contrôle (T0) – tous types sujets confondus	141
Figure 4 - 11 : Distribution des prélèvements des agriculteurs A, B et des groupes (2A+B) au cours du temps dans le traitement Bonus-Malus (T1) – tous types sujets confondus.....	151
Figure 4 - 12 : Distribution des prélèvements des agriculteurs A, B et des groupes (2A+B) au cours du temps dans le Contrat solidaire (T2) – tous types sujets confondus.....	155

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2 - 1 : Comparaison et complémentarités des deux méthodes d'évaluation mobilisées dans la thèse.....	57
Tableau 2 - 2 : Caractéristiques hydrogéologiques, agricoles et institutionnelles des cinq terrains d'étude.....	74
Tableau 3 - 1 : Liste des ateliers et caractéristiques des participants irrigants	85
Tableau 3 - 2 : Liste des participants institutionnels et institutions représentées.....	86
Tableau 3 - 3 : Affirmations issues des ateliers concernant le bonus-malus	93
Tableau 3 - 4 : Affirmation concernant le Contrat Solidaire	99
Tableau 3 - 5 : Facteurs contextuels expliquant les différences de résultats entre les terrains.....	107
Tableau 3 - 6 : Facteurs contextuels favorisant ou limitant la réussite du bonus-malus	111
Tableau 3 - 7 : Facteurs contextuels favorisant ou limitant le succès du contrat solidaire.....	113
Tableau 4 - 1: Paramètres du jeu	125
Tableau 4 - 2 : Prédictions théoriques du couple (prélèvement ; gain espéré) - Traitement de contrôle T0.....	127
Tableau 4 - 3 : Matrice des gains des joueurs A en fonction des volumes prélevés PA1 et PA2	130
Tableau 4 - 4 : Prédictions théoriques du couple (prélèvement ; gain) - Traitement T1 – Bonus-Malus.....	130
Tableau 4 - 5 : Prédictions théoriques du couple (prélèvement ; gain) pour l'agriculteur B - Traitement T2 – Contrat solidaire	132
Tableau 4 - 6 : Matrice des profits des agriculteurs A en année moyenne.	133

Tableau 4 - 7 : Prédications théoriques du couple (prélèvement ; gain) dans le traitement T2 – En contrat.....	134
Tableau 4 - 8 : Prédications théoriques du couple (prélèvement ; gain) dans le traitement T2 – Hors contrat.....	134
Tableau 4 - 9 : Lieux, dates et caractéristiques des sujets	135
Tableau 4 - 10 : Choix stratégiques et proportion de sujets par stratégie dans le traitement T0	142
Tableau 4 - 11 : Comparaison des moyennes de prélèvements observés aux prélèvements théoriques.	145
Tableau 4 - 12 : Comparaison des moyennes de prélèvements observés aux volumes autorisés.....	146
Tableau 4 - 13 : Comparaison des prélèvements moyens par climat.	147
Tableau 4 - 14 : Comparaison des moyennes de prélèvements entre le traitement T1 et le traitement T0.	148
Tableau 4 - 15 : Choix stratégiques et proportions de sujets par stratégie dans le traitement T1 – Bonus-Malus	149
Tableau 4 - 16 : Comparaison des moyennes de prélèvements entre le traitement T2 et le traitement T0.	153
Tableau 4 - 17 : Choix stratégiques et proportions de sujets par stratégie dans le traitement T2 - Contrat solidaire	156
Tableau 4 - 18 : Comparaison des moyennes de prélèvements entre le traitement T1 et T2.	159
Tableau 4 - 19 : Valeur de la production agricole (en écus) dans les 3 traitements et dans une situation de respect strict des autorisations	160
Tableau 4 - 20 : Mesures d'efficacité, de fiabilité et de rendement des instruments de régulation.....	162

LISTE DES ABREVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

CG	Conseil Général
DDT	Direction Départementales des Territoires
DREAL	Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
LEEM	Laboratoire d'Economie Expérimentale de Montpellier
LEMA	Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques
ONEMA	Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques
SAGE	Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux
SMHAR	Syndicat Mixte d'Hydraulique Agricole du Rhône
SYGRED	Syndicat de Gestion de la Ressource en Eau dans la Drôme

Introduction

L'eau d'origine souterraine représente entre 70 et 80% de l'eau totale prélevée en Europe, et plus de 90% dans des pays aussi divers que la Tunisie, Malte, l'Arabie Saoudite ou le Danemark, (UNESCO, 2004). A l'échelle mondiale, elle répond à 50% des besoins en eau potable, 40% de la demande industrielle et 20% des besoins agricoles. Dans certaines régions arides du monde (Lybie, Arabie Saoudite), elle est l'unique source d'irrigation des cultures. Dans les régions méditerranéennes, elle couvre 25% des besoins en eau d'irrigation.

L'eau souterraine présente des avantages qui, couplés à des facteurs économiques favorables, ont entraîné l'intensification de son exploitation par le secteur agricole ces dernières décennies. Cette ressource est caractérisée par une grande disponibilité, à la fois dans l'espace et le temps. Son extension géographique la rend accessible à l'ensemble des irrigants d'un territoire (FAO, 2003; Shah, 2008) : elle offre aux irrigants l'opportunité de s'affranchir des contraintes de la gestion collective des systèmes irrigués traditionnels dépendant des eaux de surface et des coûts de transaction associés (coûts d'information, de négociation, de contestation, etc.) (Llamas et Martinez-Santos, 2005; Schlager, 2006; Hammani, 2009). Elle permet une exploitation proche du lieu d'utilisation, réduisant les coûts de transport et les coûts de gestion des infrastructures associées (réseaux de canaux ou canalisations) (Schlager, 2006; Ross et Martinez-Santos, 2009). Sa disponibilité dans le temps (stock important) lui confère le rôle de ressource de sécurité (Llamas et Martinez-Santos, 2005). Sa grande inertie lui permet de résister aux variations saisonnières du climat et de jouer le rôle de tampon en supportant momentanément des pics de prélèvements correspondant à des besoins exceptionnels, comme en période de sécheresse (Tsur et Graham-Tomasi, 1991; UNESCO, 2004; Schlager, 2006; Ross et Martinez-Santos, 2009). Enfin, la qualité de son eau et son rôle de stockage sont d'autres caractéristiques qui ont accru l'intérêt des usagers de l'eau pour la ressource souterraine (Schlager, 2006).

Par ailleurs, des facteurs exogènes ont favorisé l'usage croissant des eaux souterraines pour l'irrigation : la réduction des coûts d'accès et d'exploitation grâce aux progrès techniques (pompes et forages à des prix accessibles) (Llamas et Martinez-Santos, 2005; Shah, 2008), une demande en eau

croissante (due à l'augmentation démographique dans les pays du sud et à un changement d'assolement dans les pays du nord), des incitations financières à l'irrigation par la Politique Agricole Commune (PAC) en Europe (jusqu'à dans les années 1990) ou encore des incitations financières et subventions de l'énergie dans certains pays du sud (Shah, 2008).

Au nord comme au sud, l'exploitation des eaux souterraines a permis de développer et de sécuriser les zones déjà irriguées à partir de réseaux collectifs approvisionnés par des ressources superficielles parfois insuffisantes et sujettes au risque de sécheresse. Elle a aussi favorisé le développement de l'irrigation dans des zones précédemment non irriguées, permettant une diversification de l'agriculture et un accroissement des surfaces en cultures à haute valeur ajoutée (maraîchages, arboriculture, semences dans le cas des pays du nord). Si elle est parfois le moteur d'une démocratisation de l'irrigation et d'un développement humain au sud (FAO, 2003), son impact est tout aussi important dans les pays du nord, où elle peut être le pilier du développement économique d'un territoire (Garrido, Martinez-Santos, *et al.*, 2005).

Cependant, la multiplication des points de prélèvements dans un contexte réglementaire peu contraignant, caractérisé par des politiques de régulation inexistantes (régime en libre accès) ou inefficaces (inadéquations en volumes autorisés et volumes disponibles dans la ressource, contrôle inefficace des prélèvements, etc.), a conduit à une exploitation non durable de la ressource. La surexploitation apparaît lorsque le volume d'eau extrait de la ressource est supérieur à sa capacité de recharge (UNESCO, 2004), mais une ressource peut être considérée surexploitée dès que les prélèvements ont des impacts négatifs sur l'environnement (Custodio, 2002). Elle entraîne des dommages environnementaux (Changming, Jingjie, *et al.*, 2001; FAO, 2003; Shah, Roy, *et al.*, 2003; Llamas et Martinez-Santos, 2005; Fienen et Arshad, 2015) : baisse des débits des cours d'eau associés et des sources à l'aval (réduction des débits et tarissement) ; dommages sur les écosystèmes associés (zones humides) ; affaissement de terrains en surface ; dégradation de la qualité de l'eau par la contamination ou par une modification des flux entre nappes, ou, dans le cas des aquifères côtiers, par l'intrusion d'eau salée.

Cette surexploitation a ainsi des répercussions économiques : à l'échelle d'un territoire, les secteurs économiques les plus dépendants sont rendus plus vulnérables à la sécheresse, l'eau souterraine ne jouant plus son rôle de ressource de sécurité (FAO, 2003) ; à l'échelle des préleveurs, l'abaissement du niveau d'eau génère des externalités de stock (hausse du coût de prospection, d'accès et de pompage) et de congestion (interférence entre les cônes de rabattement des zones de pompages) (Gardner, Moore, *et al.*, 1997).

Elle a également des répercussions sociales, puisqu'elle touche en priorité les agriculteurs les plus pauvres, n'ayant pas les moyens de chercher l'eau plus en profondeur (pour un exemple, voir Mukherji (2006)) et parce qu'elle génère des conflits entre usagers aux intérêts divergents.

Le constat des impacts environnementaux et économiques de la surexploitation des nappes conduit les décideurs publics à mettre en place des politiques de régulation des prélèvements en eau souterraine.

En pratique, il s'agit de définir, sur la base d'études hydrogéologiques, un volume maximum pouvant être durablement prélevé par l'ensemble des usagers sans mettre en danger la nappe et les écosystèmes associés. Ce volume total d'extraction durable est ensuite réparti entre les usagers, chaque préleveur recevant une allocation en eau spécifiant un volume à ne pas dépasser. De tels systèmes ont déjà été mis en place dans plusieurs pays, parmi lesquels plusieurs états de l'ouest des Etats-Unis (Schlager, 2006; Blomquist, Schlager, *et al.*, 2010), l'Australie (Ross et Martinez-Santos, 2009), l'Espagne (Garrido, Martinez-Santos, *et al.*, 2005), au Chili (Hearne et Donoso, 2005). Plus récemment, des systèmes de régulation similaires sont encouragés en Europe, notamment au Royaume-Uni (DEFRA, 2013) et en France (Figureau, Montginoul, *et al.*, 2014).

Une fois défini ce volume total d'extraction durable, sa répartition entre les usagers peut être réalisée selon trois modalités de régulation : la gestion centralisée par l'Etat (*command-and-control*), l'autorégulation par les usagers et la coordination par le marché. Dans cette thèse, nous nous intéressons à l'autorégulation, qui peut être définie comme la capacité des usagers à « concevoir, suivre et mettre en application leurs propres règles pour maintenir un usage intensif d'une ressource commune locale » (traduit de Ostrom et Gardner (1993)). En s'appuyant sur de nombreux cas d'études

en Europe, en Amérique et en Asie, des travaux de recherche ont, en effet, mis en évidence l'intérêt de ce mode de régulation pour gérer durablement une ressource commune (Ostrom, 1990; Lopez-Gunn, 2003; Lopez-Gunn et Martinez-Cortina, 2006; VanSteenbergen, 2006; Ross et Martinez-Santos, 2009; Shah, 2012) et ont ainsi remis en cause le modèle de Hardin (1968) sur l'épuisement inévitable des biens communs. Le succès de cette forme de régulation peut s'expliquer par : (i) une connaissance fine de la ressource et du territoire par les acteurs locaux qui leur permet de concevoir des règles de gestion adaptées au contexte local (Rose, 2002; Lopez-Gunn et Martinez-Cortina, 2006; VanSteenbergen, 2006), (ii) l'autonomie et la responsabilisation des usagers qui les incitent à respecter les règles de régulation (Lopez-Gunn, 2003; VanSteenbergen, 2006), (iii) une légitimité et un respect accrus des règles de gestion lorsqu'elles sont conçues par ceux qui les subissent (Lopez-Gunn, 2003; Vyrastekova et von Soest, 2003; Lopez-Gunn et Martinez-Cortina, 2006), et (iv) l'efficacité du contrôle mutuel et de la pression sociale dans l'incitation à respecter les règles collectivement élaborées (Lopez-Gunn, 2003; VanSteenbergen, 2006).

Pour ces raisons, l'approche de gestion d'une ressource commune par ses usagers suscite l'intérêt des décideurs publics, qui la considèrent de plus en plus comme une solution à privilégier par rapport à la structuration hiérarchique.

En France, la loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques¹ (LEMA) de 2006 préconise une gestion décentralisée des prélèvements agricoles en eau d'irrigation en remplacement de la structuration hiérarchique antérieure (gestion centralisée par l'Etat). Cette loi vise à répondre au besoin apparu à la fin des années 1990, de mettre en place des mesures préventives afin de limiter l'occurrence des crises et les impacts écologiques et socio-économiques associés. En effet, suite à la multiplication rapide des prélèvements en nappe² dans un contexte règlementaire très peu contraignant, les sécheresses répétées

¹ Loi n° 2006-1772 du 30 décembre 2006 sur l'eau et les milieux aquatiques, Journal Officiel de la République Française. France. 303 du 31 décembre 2006. République Française, n°303 du 31 décembre 2006, France, Texte n°3/175

² En France, le développement récent de l'irrigation à partir des années 1970 s'est soldé par un triplement des surfaces irriguées en 30 ans (Gleyses et Rieu, 2004) et s'est appuyé sur un accès individuel à la ressource, principalement souterraine : en 2010, 51% des exploitations ayant un accès individuel disposent au moins d'un forage (Campardon, Loubier, *et al.*, 2012). L'intensification de l'irrigation est particulièrement observée dans le nord de la France, là où existent des nappes d'eau

du début des années 1990 provoquent d'importantes crises révélant des ressources en eau intensément, voire surexploitées. Les mesures de restrictions déclenchées par les services de l'Etat ne sont qu'une solution curative qui ne permet pas toujours d'enrayer la dégradation des milieux et qui a des conséquences économiques³.

Ainsi, la LEMA prévoit de « délimiter des périmètres à l'intérieur desquels les autorisations de prélèvement d'eau pour l'irrigation sont délivrées à un organisme unique pour le compte de l'ensemble des préleveurs irrigants ». Inspirée d'initiatives locales en Beauce et en Poitou-Charentes, cette gestion est dite « volumétrique », car basée sur la définition d'un volume prélevable total réparti entre les irrigants sous forme d'allocations spécifiant un volume individuel à ne pas dépasser. De plus, la responsabilité de la répartition de ce volume entre les irrigants est confiée à un organisme local représentant les irrigants du bassin, l'OUGC (Organisme Unique de Gestion Collective des prélèvements d'eau pour l'irrigation). Chaque OUGC sera donc doté de fonctions aujourd'hui remplies par l'administration, ce qui illustre bien la volonté de l'Etat de déléguer une partie de ses missions régaliennes aux institutions et acteurs locaux. Globalement, la loi sur l'eau de 2006 marque la volonté de faire évoluer la gestion des prélèvements agricoles en eau en France (Figureau, Montginoul, *et al.*, 2012) :

1. D'une gestion de crise, basée sur des mesures de restriction déclenchées lors des sécheresses, vers une gestion structurelle basée sur le partage préalable du volume disponible dans la ressource ;
2. D'une gestion centralisée par l'Etat vers une gestion décentralisée exercée par les usagers ;
3. D'une gestion des autorisations à l'échelle individuelle à une gestion collective basée sur une autorisation unique et collective délivrée à l'OUGC.

Ce nouveau cadre de gestion devrait permettre d'établir des modes de régulation adaptés à chaque bassin et à ses spécificités, en s'appuyant sur les connaissances et l'expérience des irrigants et des représentants agricoles et institutionnels.

étendues et puissantes (nappe de la Beauce dans le Centre et en Ile-de-France, nappe de la Craie en Picardie, nappes de Poitou-Charentes, etc.).

³ Les restrictions sur les prélèvements induisent des pertes de rendement et donc de revenu pour le secteur agricole. A partir des exemples de la Drôme, de la Charente, du Loir-et-Cher et de la Seine-et-Marne, Pons (2013) a estimé la perte économique pour le secteur agricole entre dix et vingt millions d'euros à l'échelle du département.

Cependant, les agriculteurs faisant face à des incertitudes économiques et environnementaux, ainsi qu'à des événements techniques, climatiques, financiers et personnels parfois imprévisibles, leur demande en eau est susceptible de varier fortement d'une année sur l'autre, s'avérant tantôt supérieure, tantôt inférieure à leur allocation. Rien ne garantit donc que les OUGC ne soient pas confrontés au dépassement des allocations individuelles, comme le sont les services de l'Etat aujourd'hui (Figureau, Montginoul, *et al.*, 2012). Ainsi, même dans le cadre d'une gestion orchestrée par les usagers, les organisations locales auront à relever le défi de l'élaboration d'instruments de régulation qui soient capables de faire respecter les allocations individuelles dans un contexte économique, climatique et hydrologique incertain et fortement variable.

C'est le problème auquel nous nous intéressons dans cette thèse. Nous cherchons à concevoir et évaluer des instruments de régulation qui répondent à deux objectifs: (1) le respect du volume prélevable total et (2) la garantie d'une flexibilité dans les prélèvements individuels. Par un travail de terrain, nous cherchons à évaluer ces instruments au travers (1) de leur efficacité à atteindre les objectifs précités dans la réalité et (2) de leur potentiel d'adaptation aux situations locales.

Le manuscrit de thèse est organisé en quatre chapitres comme suit.

Le premier chapitre propose un état de l'art sur les instruments économiques de gestion des ressources communes et présente les deux instruments étudiés dans ce travail de recherche.

Le deuxième chapitre expose les choix méthodologiques réalisés pour produire l'évaluation des deux instruments étudiés dans la thèse. Elle s'appuie d'une part sur une méthode d'évaluation qualitative par des ateliers participatifs et d'autre part sur une méthode d'évaluation quantitative par l'économie expérimentale, les deux étant déployées sur cinq terrains d'étude en France.

Le troisième chapitre rapporte les résultats de l'évaluation par les ateliers de prospective. Les résultats permettent une évaluation des instruments selon des critères d'efficacité, d'acceptabilité et de faisabilité, ainsi que l'identification de facteurs contextuels qui favoriseront ou limiteront la réussite des deux formes de régulation proposées.

Le quatrième chapitre présente les résultats de l'évaluation par l'économie expérimentale. Les résultats rapportent une quinzaine d'observations notables mesurant les effets des instruments sur les comportements et permettant de proposer des mesures d'efficacité, d'efficience et de fiabilité des instruments.

Enfin, la discussion générale montre comment le croisement des résultats issus de cette double évaluation des instruments permet d'affiner le modèle prédictif implicitement utilisé pour élaborer nos instruments de régulation.

CHAPITRE 1

Conception de deux instruments pour réguler les prélèvements agricoles en nappe

Le constat de la surexploitation des eaux souterraines dans le monde et dans certains bassins en France appelle à l'élaboration d'instruments de régulation qui puissent enrayer la multiplication des points de prélèvements et l'augmentation des volumes prélevés. Ce problème nécessite à la fois de connaître la ressource et les préleveurs, et d'inciter les usagers à limiter leur extraction. Notre travail porte sur la deuxième partie du problème et vise à élaborer des instruments qui incitent les irrigants à restreindre leurs prélèvements dans la limite du volume d'extraction supportable par l'aquifère. Ce chapitre commence par rappeler la problématique de la thèse et positionner le problème dans le cas d'une ressource connue, dont le volume d'extraction durable a été estimé et distribué à un nombre fini d'usagers sous forme d'allocations individuelles. Pour que les irrigants respectent ces allocations, le régulateur peut faire appel à différents types d'incitations, économiques ou non, que nous passons en revue dans une deuxième partie de ce chapitre. Pour répondre au problème posé, nous proposons deux instruments de régulation visant à limiter les prélèvements, reposant à la fois sur des incitations économiques et sur des incitations sociales. Les troisième et quatrième parties de ce chapitre présentent ces deux instruments de façon théorique. Elles proposent une formalisation mathématique de la décision de l'agriculteur en fonction de l'instrument, visant à identifier les leviers incitatifs que le régulateur pourra actionner pour en améliorer l'efficacité en fonction des caractéristiques des préleveurs.

1. Problématique et objectifs des instruments

1.1. Comment limiter les prélèvements agricoles ?

La régulation des prélèvements en nappe se heurte à deux problèmes : (1) la connaissance des points de prélèvements et des volumes prélevés et (2) la limitation des quantités prélevées par chaque usager. La question de l'acquisition d'information a fait l'objet de nombreux travaux et peut être résolue par des approches d'acquisition directe et indirecte d'informations à un niveau d'agrégation variable⁴ (Montginoul, Rinaudo, *et al.*, in press) : (1) le contrôle aléatoire sur le terrain, (2) l'utilisation d'une donnée indirecte ou d'une proxy (identification des cultures par image satellite, approximation par la consommation d'électricité pour les compteurs d'eau électriques, etc.), (3) l'usage d'incitations économiques encourageant les préleveurs à déclarer leurs points de prélèvements et révéler leur niveau d'extraction au plus juste (par exemple : les aides de la PAC conditionnées à la mise en conformité des ouvrages de prélèvement, les redevances différenciées de l'agence de l'eau Rhône-Méditerranée pour les irrigants qui ne disposent pas de compteurs, ou encore la régulation par le principe du « présumé coupable coupable » de Swierzbinski (1994) selon laquelle déclarer son réel prélèvement réduit à la fois la probabilité d'être contrôlé et le montant de la taxe).

Cette asymétrie d'information entre les préleveurs et le régulateur reste le principal obstacle à la gestion des prélèvements dans les pays émergents (Inde, Mexique, Maghreb) mais est en partie résolue dans les pays développés, notamment grâce à l'utilisation de technologies d'acquisition d'images (exemple de la télédétection en Espagne, voir Martín de Santa Olalla, Calera, *et al.* (2003) et de transmission de l'information (exemple des compteurs à télérelève en Australie (Beal et Flynn, 2015)). Dans la présente thèse, nous supposons le problème d'information résolu par l'une ou la combinaison de ces techniques.

Nous nous intéressons donc au second problème : comment inciter les irrigants à limiter leur niveau d'extraction au niveau souhaité par le régulateur ?

⁴ D'autres travaux ont élaboré des instruments de régulation qui s'affranchissent du problème d'information à l'échelle individuelle en basant les incitations sur le niveau agrégé des prélèvements, facilement estimables à partir d'une proxy (baisse du niveau de la nappe, baisse du débit dans les cours d'eau, etc.) : c'est le cas de la taxe/subvention collective de Segerson (1988), de la taxe ambiante de Giordana (2007) et la taxe ambiante différenciée de Lenouvel (2011).

1.2. Positionnement du problème et objectifs des instruments

1.2.1. Positionnement du problème : allocations individuelles et flexibilité

Nous distinguons deux types d'approches dans la régulation des prélèvements dans une ressource commune (Figure 1 - 1). La première (① sur la Figure 1 - 1) vise à utiliser un prix pour influencer les choix individuels de façon à ce que l'extraction agrégée soit inférieure ou égale à l'extraction maximale acceptable par la ressource. Cette première approche ne nécessite pas de réaliser une allocation initiale individuelle. C'est le cas de la taxe pigouvienne qui consiste à fixer un montant de taxe de façon à ce que la demande agrégée des préleveurs respecte le volume disponible total. Ses trois principales limites sont : (1) la difficulté de connaître les fonctions de production avec la précision nécessaire pour fixer la taxe au bon niveau, (2) l'inefficacité de la taxe en cas de variation des paramètres environnementaux dont dépendent les fonctions de production et (3) un impact économique insupportable pour certains usagers qui sont contraints d'abandonner leur activité. Dans la pratique, ces taxes sont mal acceptées par les usagers et pour des raisons politiques, elles sont souvent appliquées à des niveaux non incitatifs (c'est le cas des redevances des agences de l'eau en France) (Rinaudo et Strosser, 2008).

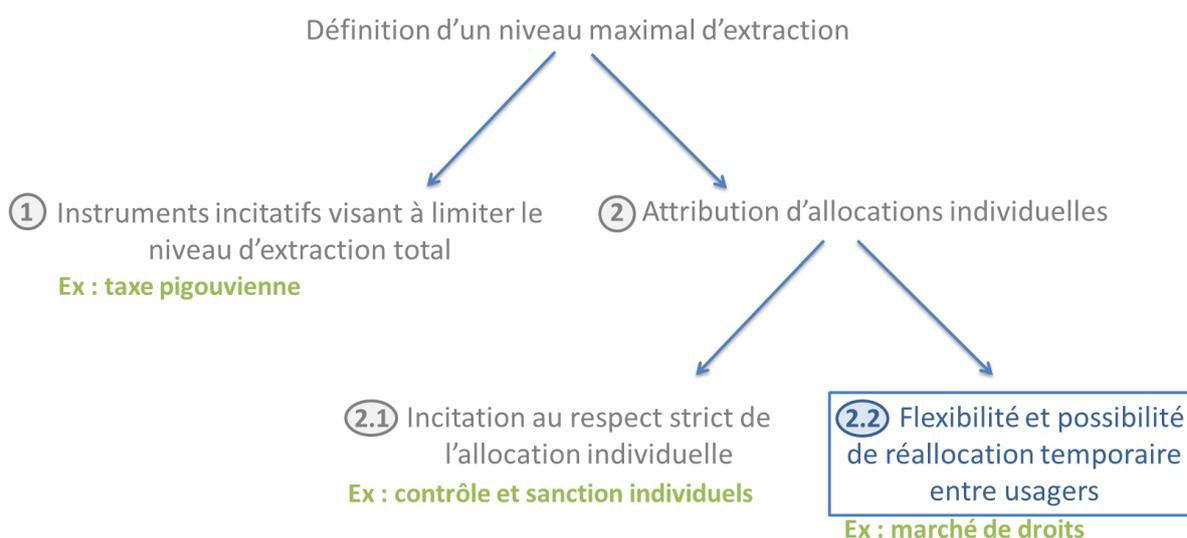


Figure 1 - 1 : Différentes approches de régulation de l'usage d'une ressource commune et positionnement choisi

La seconde approche repose sur la répartition du volume total en quotas individuels (② sur la Figure 1 - 1). Elle implique la mise en œuvre d'instruments qui incitent les préleveurs à ne pas

dépasser leur quota individuel. Pour cela, le régulateur peut choisir de mettre en place, un système de contrôle et de sanction forfaitaire dissuasive applicable en cas de dépassement (**2.1** sur la Figure 1 - 1). Le principal inconvénient de cette gestion par la quantité est la rigidité de l'allocation initiale, qui peut être inefficace. Pour améliorer l'efficacité de l'allocation initiale de la ressource, de la flexibilité peut être introduite dans un système de gestion par quotas, par exemple en rendant les quotas individuels transférables sur un marché (**2.2** sur la Figure 1 - 1).

1.2.2. Objectifs des instruments de régulation

Dans cette thèse, nous proposons de concevoir et d'évaluer des instruments de régulation des prélèvements qui garantissent le respect du volume prélevable total tout en autorisant la réallocation temporaire de la ressource entre usagers : les dépassements d'allocation par certains ne sont pas indésirables tant que des économies réalisées par d'autres peuvent les compenser et que la somme des prélèvements individuels n'excède pas le volume prélevable total. Comparé à un système d'allocations fixes, l'introduction de cette souplesse devrait permettre à la fois d'accroître le bénéfice économique et d'augmenter la probabilité de respect du volume prélevable total. En effet, les agriculteurs faisant face à des incertitudes économiques et environnementales, ainsi qu'à des événements techniques, climatiques, financiers et personnels parfois imprévisibles, leur demande en eau est susceptible de varier fortement d'une année sur l'autre, s'avérant tantôt supérieure, tantôt inférieure à leur allocation. Le défi consiste à élaborer des instruments de régulation qui soient capables de faire respecter les allocations dans un contexte économique, climatique et hydrologique incertain et fortement variable.

Les instruments doivent donc répondre à trois objectifs : (1) le respect du volume prélevable total, (2) une flexibilité dans les allocations. Le premier objectif peut être atteint en donnant aux irrigants des incitations pour changer leurs pratiques. Le deuxième vise à soulager les irrigants de leur contrainte d'allocation pour répondre à leur besoin d'adaptation aux conditions économiques et environnementales annuelles.

Dans ce contexte, les instruments de régulation envisageables présentent une grande diversité, que nous allons maintenant explorer.

2. Instruments pour la régulation des prélèvements dans une ressource commune : un état de l'art

Cette partie propose une rapide revue des instruments incitatifs existants en distinguant les incitations strictement économiques de celles utilisant les préférences sociales des individus.

2.1. Instruments basés sur les incitations économiques

Les politiques publiques peuvent s'appuyer sur des instruments économiques pour influencer le comportement des individus dans le sens désiré. Ces instruments économiques agissent en modifiant les coûts et bénéfices d'une action. L'hypothèse sous-jacente est que les agents économiques vont intégrer ces nouveaux paramètres dans leur calcul économique et répondre à ces signaux économiques en ajustant leur décision pour maximiser leur profit.

Dans le domaine des ressources naturelles, les instruments économiques pouvant être utilisés sont la tarification, les taxes, les amendes mais aussi des incitations positives comme les paiements ou les subventions. Un mécanisme souvent mobilisé dans la gestion des ressources communes consiste à délivrer des droits d'usage et les rendre échangeables sur un marché. Concernant les ressources en eau, de tels marchés existent déjà dans de nombreux pays (Grafton, Libecap, *et al.*, 2011; Maestu, 2013; Easter et Huang, 2014). En Europe, l'Espagne fait figure de précurseur (Garrido, Rey, *et al.*, 2012) alors qu'ailleurs des travaux de recherche sont menés pour évaluer les potentialités d'un tel mécanisme (notamment, le programme européen Blue Print⁵). Or, ces études exploratoires mettent en évidence une réticence de la part des agriculteurs à rendre leurs droits d'eau marchands et prévoient par conséquent un usage très limité du mécanisme d'échange s'il était mis en place (Rinaudo, Berbel, *et al.*, 2014). Cela est confirmé par les expériences de marchés de l'eau qui montrent que les volumes échangés sont très faibles en proportion des volumes prélevés et utilisés (Hanak, 2002; Ambec, Amigues, *et al.*, 2012; Garrido, Rey, *et al.*, 2012). Ainsi, les coûts de mise en œuvre d'un tel système (avec les mécanismes réglementaires et juridiques nécessaires à sa régulation et son encadrement) s'avèreraient élevés pour un usage limité. Enfin, des barrières administratives, politiques et réglementaires demeurent et entravent l'efficacité des marchés de l'eau (Zhang, 2007; Qureshi, Shi, *et*

⁵ http://ec.europa.eu/environment/water/blueprint/index_en.htm

al., 2009). C'est le cas en France où l'échange marchand de droits sur une ressource naturelle n'est pas autorisé (droits d'eau, quotas de pêche (Larabi, Guyader, *et al.*, 2013)).

Dans cette thèse, nous nous intéressons plutôt à des incitations économiques directes telles que les sanctions et récompenses financières. Elles supposent que le comportement d'un agent économique est mû par la maximisation de sa fonction de profit et doivent être conçues de façon à augmenter l'utilité de l'individu lorsqu'il réalise une action désirable et à la réduire sinon.

Les effets des sanctions et récompenses financières dans la modification des comportements en matière d'exploitation des ressources naturelles ont été largement étudiés, à la fois par des méthodes de modélisation micro-économique et par des approches expérimentales (Fehr et Gächter, 2000; Rapoport et Au, 2001; Masclet, Noussair, *et al.*, 2003; Sefton, Shupp, *et al.*, 2007; Moreno-Sánchez et Maldonado, 2010; d'Adda, 2011; Travers, Clements, *et al.*, 2011). Les résultats de ces études ne sont pas systématiquement concordants, mettant en évidence que l'effet des incitations est très dépendant des conditions de leur mise en œuvre dans une politique de régulation.

L'un des principaux enjeux des incitations est de les fixer au bon « niveau » (Gneezy et Rustichini, 2000b; Murphy et Cardenas, 2004) : le montant de la sanction doit être supérieur au gain marginal que l'individu perçoit en ne respectant pas les règles ; le montant de la récompense doit être supérieur à la perte occasionnée par un comportement vertueux. Or, dans le cas d'individus hétérogènes caractérisés par une fonction de profit dont les paramètres varient dans le temps ou l'espace, il n'existera pas de montant incitatif optimal pour tous. De même, le choix de l'autorité en charge de son application peut être déterminant dans l'efficacité de l'incitation : testée en économie expérimentale, les incitations endogènes provenant des pairs génèrent de meilleurs résultats qu'une régulation exercée par une entité externe (Moreno-Sánchez et Maldonado, 2010; Travers, Clements, *et al.*, 2011). Par ailleurs, il est difficile de conclure quant à la supériorité d'un type d'incitation (positive ou négative) sur l'autre : si l'économie expérimentale a montré que l'usage de récompenses seules était moins efficace (Rapoport et Au, 2001) et moins durable (Sefton, Shupp, *et al.*, 2007) que l'usage de sanctions seules, certaines expériences ont démontré le contraire (Travers, Clements, *et al.*, 2011). Ainsi, quelques travaux ont proposé de combiner les deux types d'incitation, la sanction visant à limiter la transgression des règles et la récompense encourageant les comportements vertueux. Dans leur étude, Sefton *et al.* (2007)

montrent que la combinaison des deux incitations génère les plus hauts niveaux de contribution individuelle à un bien public. Rapoport et Au (2001) proposent un système permettant que les récompenses soient alimentées par le revenu des sanctions. Bien que cela ait également été discuté par Collins and Maille (2011), un tel mécanisme n'a encore jamais été testé en pratique.

2.2. Instruments exploitant les préférences sociales

Une abondante littérature, principalement issue de l'économie expérimentale, a mis en évidence les limites des incitations économiques. Elles peuvent en effet donner lieu à des effets contraires à ceux escomptés, notamment par l'effet d'éviction (*crowding-out effect*) (Gneezy et Rustichini, 2000a, 2000b; Bowles et Polania-Reyes, 2012; Frey, 2012; Kerr, Vardhan, *et al.*, 2012). Cet effet se traduit par une réduction de la motivation intrinsèque de l'individu à adopter un comportement vertueux, dont la perception par l'individu est modifiée par les incitations financières : la transgression des règles est légitimée par le paiement d'une sanction et leur respect devient conditionné à une rémunération. Un exemple classique est celui rapporté par Gneezy et Rustichini (2000a) : en Israël, des directeurs de crèches, lassés par les retards récurrents de certains parents pour venir récupérer leurs enfants, décident d'appliquer une sanction financière pour les inciter à davantage de ponctualité. L'effet est contraire à celui escompté : les retards s'allongent et se multiplient. C'est l'effet d'éviction (*crowding-out effect*) des incitations financières : alors que la sanction devait inciter les parents à respecter les horaires de la crèche, ils la perçoivent comme le prix à payer pour pouvoir arriver en retard. Les comportements des individus ne sont pas en effet uniquement influencés par des motivations économiques (List, 2005; Bowles et Polania-Reyes, 2012; Frey, 2012). L'agent économique optimise son utilité en tenant compte de son environnement social et y intègre des notions d'éthique, d'altruisme, de réciprocité, d'aversion à l'inégalité, etc. : ce sont ses préférences sociales (Fehr et Fischbacher, 2002; Levitt et List, 2007; Zarri, 2010; Bowles et Polania-Reyes, 2012). Elles permettent d'expliquer des phénomènes qui échappent à la théorie de la maximisation économique, comme l'existence d'actions caritatives, les dons à des associations, etc. Cette littérature est très liée au courant de l'économie expérimentale, qui a permis, une fois ces comportements mis en évidence dans la réalité, d'en comprendre les déterminants et d'étudier les interactions entre incitations économiques

et préférences sociales. Ces préférences sociales peuvent ainsi être utilisées dans l'élaboration de politiques publiques, l'objectif étant de renforcer le poids des considérations non économiques dans les prises de décisions individuelles pour favoriser les comportements pro-sociaux.

En particulier, elles peuvent être mises à profit pour élaborer des instruments de gestion des ressources communes. Là encore, de nombreux travaux en économie expérimentale ont permis d'évaluer le pouvoir incitatif d'instruments qui exploitent les préférences sociales, au travers des jeux du bien public ou d'extraction dans une ressource commune, plus ou moins contextualisés. Ces études soulignent l'intérêt de quatre grands types de leviers non économiques qui favorisent la coopération entre les usagers d'une même ressource : les punitions et récompenses par les pairs, l'information (en particulier la transparence sur les décisions individuelles), la communication et l'exploitation des normes sociales.

2.2.1. Punitions et récompenses par les pairs

Le premier levier consiste à permettre aux usagers d'attribuer des punitions ou des récompenses à leurs pairs selon des règles prédéfinies. Dans les expériences, ces incitations sont souvent coûteuses pour le joueur qui souhaite les appliquer, si bien que la théorie économique prédit qu'aucun agent économique rationnel n'y aura recours, car cela réduirait son profit individuel. Pourtant, le premier résultat issu de ces expériences est que les joueurs utilisent l'opportunité qui leur est offerte de sanctionner et récompenser leurs pairs : les joueurs y trouvent donc un intérêt, celui de marquer leur désapprobation afin d'instaurer une pression sociale permettant d'augmenter la coopération. Le second résultat est que ces incitations internes au groupe, qu'elles soient monétaires ou non (de la simple désapprobation à la menace d'ostracisme), augmentent la coopération des joueurs (Fehr et Gächter, 2000; Masclet, Noussair, *et al.*, 2003; Bochet, Page, *et al.*, 2006; Sefton, Shupp, *et al.*, 2007; Vyrastekova, 2008; Tavoni, Schlüter, *et al.*, 2012).

2.2.2. Information et transparence

Le deuxième levier est l'apport d'information aux joueurs : sur la dynamique de la ressource, sur la contribution agrégée du groupe ou bien sur les décisions individuelles. L'information sur la ressource vise à accroître la sensibilité du sujet à la problématique de surexploitation de la ressource et induit

une hausse de la coopération (Hey, Neugebauer, *et al.*, 2009). Le recours à la transparence sur les décisions individuelles des joueurs repose sur l'hypothèse que celle-ci renforce l'incitation morale à respecter son autorisation, puisque les comportements individuels sont rendus observables par les pairs : « toute personne peut, par le mépris ou l'intimidation, empêcher une autre personne de transgresser le code moral » (« any person can, through open contempt or intimidation, withhold another person from breaking the moral code » in Van Steenberg et Shah (2002)). Les différentes études ayant testé le rôle de l'information dans la régulation d'une ressource montrent que dans la plupart des situations, la transparence accroît la coopération (Ostrom, 1990; Fehr et Gächter, 2000; Masclet, Noussair, *et al.*, 2003; Villena et Zecchetto, 2011; Zafar, 2011). Cependant, certaines études montrent que son effet varie selon les communautés et qu'il est conditionné à l'existence préalable dans la communauté d'une norme sociale qui définit le comportement désirable (d'Adda, 2011; Travers, Clements, *et al.*, 2011). Dans d'autres cas, la transparence peut même conduire à l'émergence et la propagation d'une norme sociale « faible » voire contre-productive (faible contribution à un bien public, généralisation d'extractions excessives dans une ressource,...) (Rodriguez-Sickert, Guzman, *et al.*, 2008; Zafar, 2011).

2.2.3. Communication entre usagers

Le troisième levier d'incitation consiste à autoriser la communication entre les usagers et la concertation sur l'allocation de la ressource. Des études de cas ainsi que des travaux expérimentaux mettent en évidence que le fait d'introduire un temps de concertation, même « sans engagement », en amont de la phase de décision augmente la coopération (Ostrom, 1990; Murphy et Cardenas, 2004; Moreno-Sánchez et Maldonado, 2010; Velez, Murphy, *et al.*, 2010; Cardenas, 2011; Travers, Clements, *et al.*, 2011). Différentes formes de communication ont pu être testées et la plus efficace semble être le face-à-face (Bochet, Page, *et al.*, 2006).

2.2.4. Exploitation des normes sociales

Le quatrième levier d'incitation consiste à exploiter les normes sociales préexistantes dans des groupes, ce qui a notamment été testé au travers d'expériences « naturelles ». Il est alors montré que l'ajout d'une incitation financière n'est parfois pas utile (Rodriguez-Sickert, Guzman, *et al.*, 2008)

voire contreproductive car réduisant la propension à coopérer : si elle est fortement ancrée dans la communauté, la norme sociale peut suffire à faire respecter les règles de gestion de la ressource (Gneezy et Rustichini, 2000b; Kerr, Vardhan, *et al.*, 2012).

Ces deux grands types d'incitations (économiques et préférences sociales) peuvent être utilisées seules ou combinées pour élaborer des instruments de régulation des prélèvements agricoles en nappe. Les parties qui suivent présentent deux instruments exploitant ces incitations.

3. Instruments de régulation n°1 : le bonus-malus

3.1.Principe général

La première stratégie de régulation des prélèvements agricoles en nappe proposée dans cette thèse s'appuie uniquement sur des incitations économiques. Elle propose de coupler les incitations positives et négatives dans un système financier fermé, dans lequel les récompenses sont alimentées par la recette des sanctions. Les irrigants qui ne respectent pas leur allocation sont contraints de payer une sanction proportionnelle à leur dépassement (« malus »). La recette issue des sanctions est intégralement redistribuée en fin de saison aux irrigants qui ont réalisé des économies d'eau (« bonus »), proportionnellement à l'effort d'économie réalisé par chaque agriculteur (Figure 1 - 2).

La combinaison des incitations vise à limiter les dépassements d'une part et à encourager les économies d'autre part, de façon à ce que la somme des économies compense la somme des dépassements et que le volume prélevable total soit respecté.

Ce système permet également de répondre à l'objectif de flexibilité, puisqu'il introduit une modulation économique qui soulage les irrigants de la contrainte stricte de leur allocation, en leur offrant la possibilité de choisir entre économiser l'eau, respecter strictement leur allocation ou la dépasser.

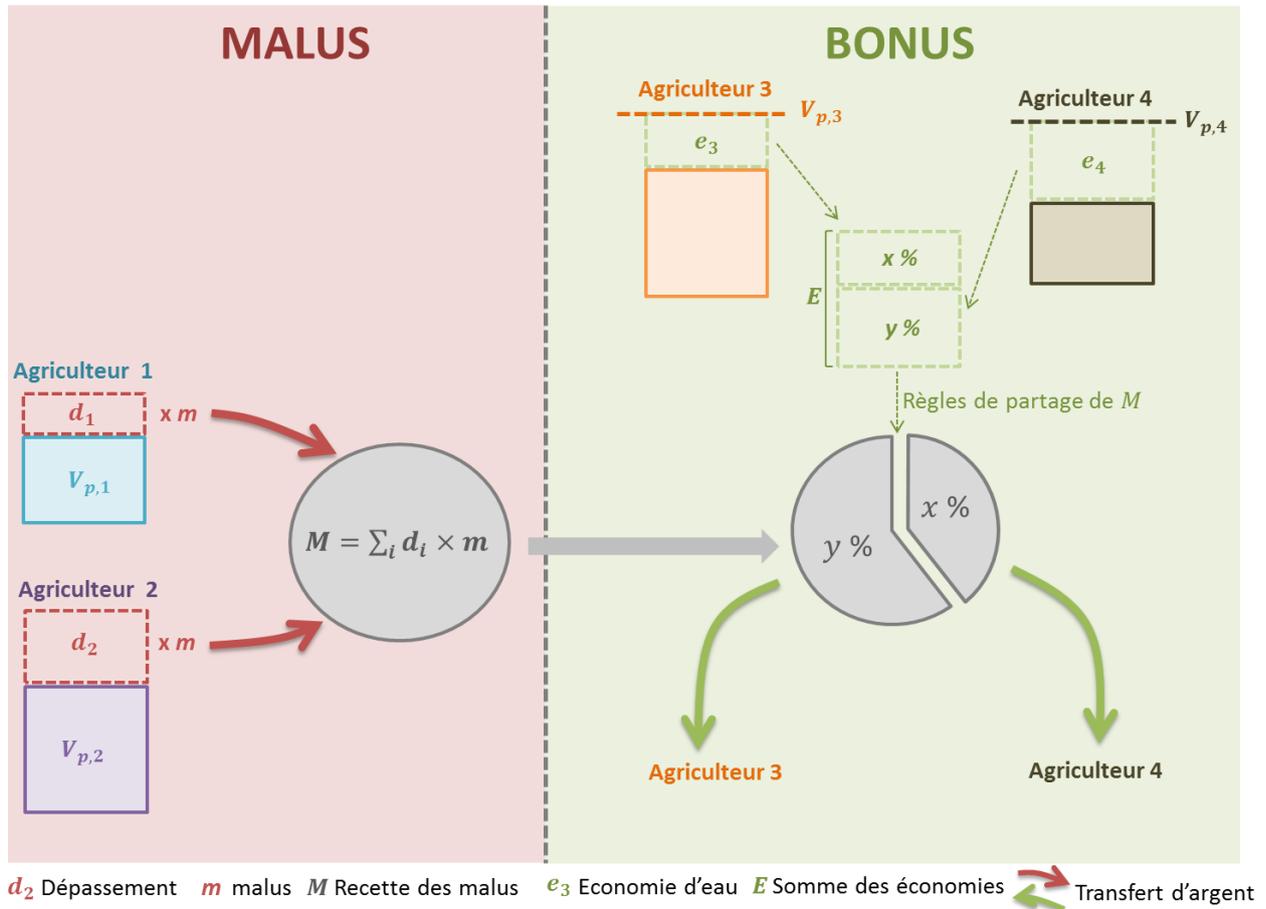


Figure 1 - 2 : Mécanismes économiques du bonus-malus

3.2. Modélisation du bonus-malus

3.2.1. Fonctions de profit

La fonction de profit d'un agriculteur i pour une culture c est de forme quadratique (Figure 1 - 3) :

$$\pi_{i,c}(P_{i,c}) = \alpha_{i,c}P_{i,c}^2 + \beta_{i,c}P_{i,c} + \gamma_{i,c} \quad (1.1)$$

Avec $\pi_{i,c}$ le profit en euros de l'agriculteur i généré par la culture c , $P_{i,c}$ le prélèvement en m^3 de l'agriculteur i destiné à l'irrigation de la culture c et $\alpha_{i,c}, \beta_{i,c}$, et $\gamma_{i,c}$ des paramètres constants (avec $\alpha_{i,c} < 0$). Le profit maximal $\pi_{i,max}$ est atteint lorsque l'agriculteur prélève P_i^* , qui est supérieur au profit $\pi_i(V_{p,i})$ obtenu en prélevant l'allocation individuelle, dite « volume prélevable individuel », noté $V_{p,i}$ (Figure 1 - 3). Dans la suite, on supposera que l'agriculteur i ne produit qu'une seule culture et on omettra le paramètre c .

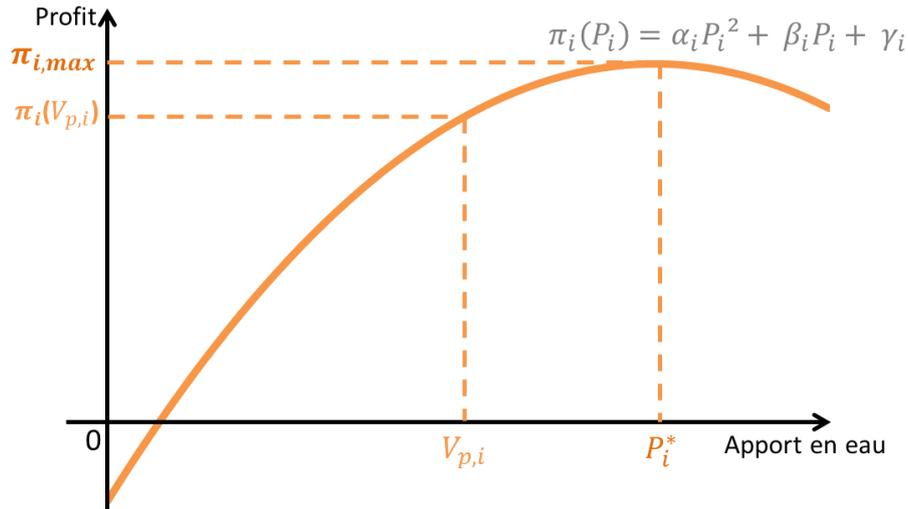


Figure 1 - 3 : Fonction de profit d'un agriculteur pour une culture en fonction de l'apport en eau

Supposons une ressource en eau souterraine utilisée par N agriculteurs. L'application du bonus-malus modifie la fonction de profit des agriculteurs. En cas de dépassement du volume prélevable individuel, la fonction de profit devient :

$$\pi_{BM,i}(P_i) = \alpha_i P_i^2 + \beta_i P_i + \gamma_i - m \times (P_i - V_{p,i}) \text{ quand } P_i > V_{p,i} \quad (1.2)$$

Avec m le montant du malus en €/m³ prélevé en excès et $V_{p,i}$ le volume prélevable individuel en m³. Au-delà du volume prélevable, le profit de l'agriculteur i est réduit par rapport à une situation sans bonus-malus (Figure 1 - 4).

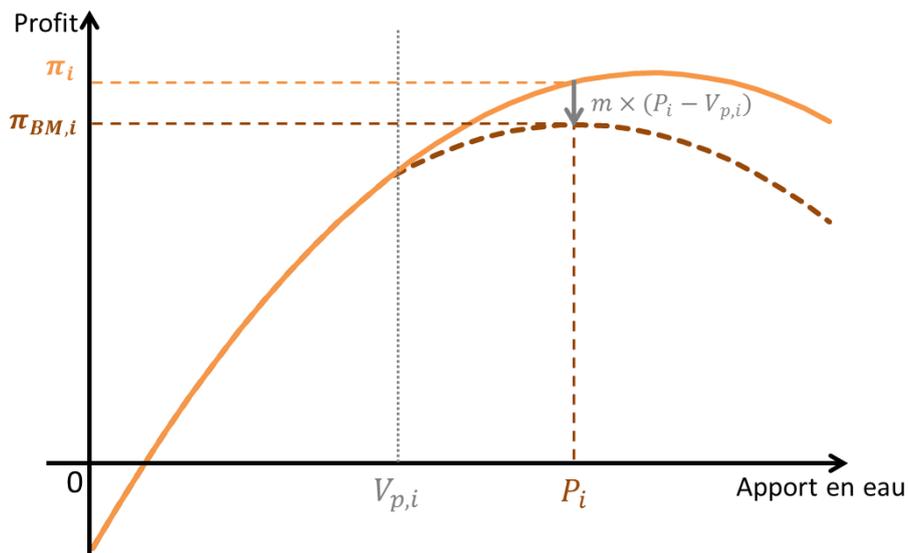


Figure 1 - 4 : Fonction de profit d'un agriculteur suite à l'application du malus

La somme des malus collectés auprès des irrigants qui dépassent leur autorisation génère une recette des malus M telle que :

$$M = \sum_i (P_i - V_{p,i}) \times m \quad \forall P_i > V_{p,i} \quad (1.3)$$

Cette recette est redistribuée aux agriculteurs qui ont économisé de l'eau par rapport à leur volume prélevable $V_{p,i}$, au prorata de leur effort d'économie par rapport à l'économie totale réalisée à l'échelle de la nappe. Dans cette situation, le profit de l'agriculteur i ayant économisé de l'eau s'écrit donc :

$$\pi_{BM,i}(P_i, \dots, P_N) = \alpha_i P_i^2 + \beta_i P_i + \gamma_i + \frac{e_i}{\sum_i e_i} \times M \quad \forall P_i < V_{p,i} \quad (1.4)$$

Avec e_i l'économie d'eau réalisée par l'agriculteur i ($e_i = V_{p,i} - P_i$) et $\frac{e_i}{\sum_i e_i}$ la part d'effort d'économie réalisée par l'agriculteur i sur les économies totales réalisées. En introduisant b le montant du bonus, qui correspond donc à la rémunération du mètre cube d'eau économisé, tel que $b = \frac{M}{\sum_i e_i}$ (en €/m³ économisé), on obtient :

$$\pi_{BM,i}(P_i, \dots, P_N) = \alpha_i P_i^2 + \beta_i P_i + \gamma_i + b \times (V_{p,i} - P_i) \text{ quand } P_i < V_{p,i} \quad (1.5)$$

Lorsqu'il prélève moins que son volume prélevable, le profit de l'agriculteur i est augmenté par rapport à son profit sans l'instrument de bonus-malus (Figure 1 - 5).

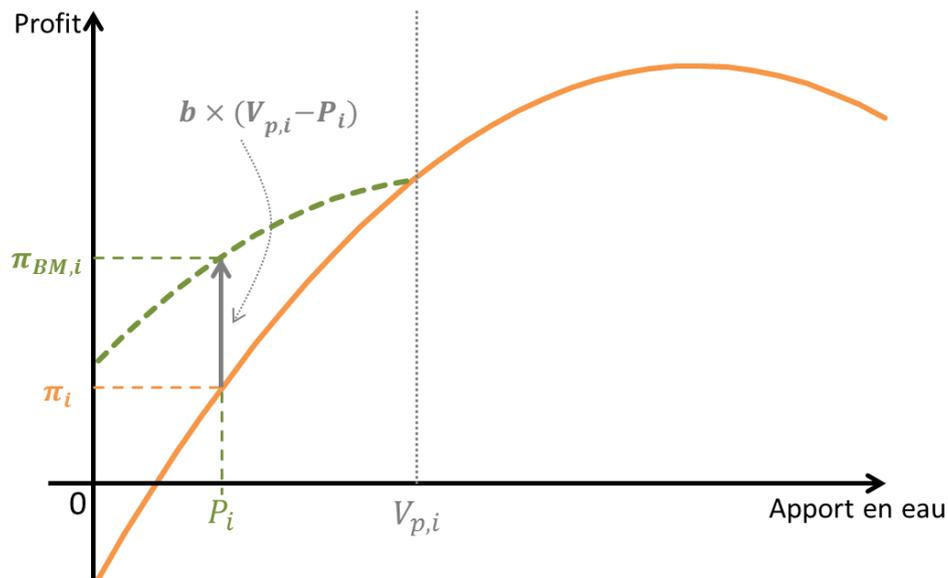


Figure 1 - 5 : Fonction de profit d'un agriculteur avec application d'un bonus

3.2.2. Détermination du montant du malus

L'objectif du mécanisme proposé est de permettre le respect du volume prélevable grâce à une compensation des dépassements par les économies d'eau :

$$\sum_i (P_i - V_{p,i}) = 0 \quad (1.6)$$

Supposons maintenant que les N agriculteurs soient hétérogènes, avec K agriculteurs de type k et J agriculteurs de type j dont les fonctions de profit s'écrivent :

$$\pi_j(P_j) = \alpha_j P_j^2 + \beta_j P_j + \gamma_j \quad (1.7)$$

Et

$$\pi_k(P_k) = \alpha_k P_k^2 + \beta_k P_k + \gamma_k \quad (1.8)$$

Pour atteindre à la fois l'équilibre financier (équation 1.3) et l'équilibre en volume (équation 1.6), le gestionnaire a pour seul levier le montant m du malus. Nous cherchons à déterminer la valeur de m qui permette d'atteindre ce double équilibre.

3.2.2.1. Condition d'hétérogénéité des stratégies

La première condition que devra satisfaire le montant m du malus est qu'un groupe soit incité à choisir la stratégie malus (par exemple les agriculteurs j) et que l'autre soit incité à choisir la stratégie bonus (par exemple les agriculteur k). Le gestionnaire doit fixer m tel que :

Condition d'hétérogénéité des stratégies :

$$\text{Les agriculteurs } k \text{ choisissent la stratégie bonus : } \quad \forall \text{ agriculteur } k \quad P_k < V_{p,k} \quad (1.9)$$

$$\text{Les agriculteurs } j \text{ choisissent la stratégie malus : } \quad \forall \text{ agriculteur } j \quad P_j > V_{p,j} \quad (1.10)$$

Or, entre les deux stratégies, « bonus » ou « malus », l'agriculteur choisira celle qui maximise son profit. Le profit de l'agriculteur i est maximal quand il existe P_i^* tel que $\frac{\partial \pi_{\text{BM},i}(P_i^*)}{\partial P_i} = 0$.

Recherche du maximum de $\pi_{BM,i}$ pour $P_i > V_{p,i}$

On cherche P_i^* tel que $\frac{\partial \pi_{BM,i}(P_i)}{\partial P_i} = 0$

$$\begin{aligned} \text{D'après l'équation (1.2)} \quad & \Leftrightarrow 2\alpha_i P_i^* + \beta_i - m = 0 \\ & \Leftrightarrow P_i^* = \frac{m - \beta_i}{2\alpha_i} \end{aligned} \quad (1.11)$$

Si l'agriculteur choisit la stratégie malus, il prélèvera le volume optimal $P_i^* = \frac{m - \beta_i}{2\alpha_i}$ qui maximise son profit. Pour que ce maximum existe, il faut vérifier que $P_i^* > V_{p,i}$, c'est-à-dire qu'il faut que :

$$m < 2\alpha_i V_{p,i} + \beta_i \quad (1.12)$$

Recherche du maximum de $\pi_{BM,i}$ pour $P_i > V_{p,i}$

Pour $P_i < V_{p,i}$, le bonus b étant incertain et dépendant des économies réalisées par les autres, nous simplifierons en supposant que tous les agriculteurs qui choisissent la stratégie « bonus » prélèvent le même volume. La recette M des malus est donc partagée de façon égale entre eux (K irrigants) et l'espérance de $E(b)$ du bonus est constante et s'écrit :

$$E(b) = \frac{M}{K} \quad (1.13)$$

On cherche P_i^* tel que $\frac{\partial \pi_{BM,i}(P_i, \dots, P_N)}{\partial P_i} = 0$

$$\begin{aligned} \text{D'après l'équation (1.5)} \quad & \Leftrightarrow 2\alpha_i P_i^* + \beta_i - \frac{M}{K} = 0 \\ & \Leftrightarrow P_i^* = \frac{\frac{M}{K} - \beta_i}{2\alpha_i} \end{aligned} \quad (1.14)$$

Si l'agriculteur choisit la stratégie bonus, il prélèvera le volume optimal $P_i^* = \frac{\frac{M}{K} - \beta_i}{2\alpha_i}$ qui maximise son profit. Pour que ce maximum existe, il faut vérifier que $P_i^* < V_{p,i}$, c'est-à-dire qu'il faut que :

$$\frac{M}{K} > 2\alpha_i V_{p,i} + \beta_i \quad (1.15)$$

En conclusion, un agriculteur j choisira la stratégie malus si :

(i) il existe un maximum à $\pi_{BM,j}$ pour $P_j > V_{p,j}$ et pas pour $P_j < V_{p,j}$ (Figure 1 - 6 - a.).

C'est-à-dire, d'après les (1.12) et (1.15) :

$$m < 2\alpha_j V_{p,j} + \beta_j \text{ et } E(b) < 2\alpha_j V_{p,j} + \beta_j \quad (1.16)$$

(ii) ou s'il existe deux maxima à $\pi_{BM,j}$ pour $P_j > V_{p,j}$ et pour $P_j < V_{p,j}$, et que le profit maximal en malus est supérieur au profit maximal en bonus (Figure 1 - 6 - b.). C'est-à-dire, d'après les équations (1.12) et (1.15) :

$$m < 2\alpha_j V_{p,j} + \beta_j \text{ et } E(b) > 2\alpha_j V_{p,j} + \beta_j \text{ et } \pi_{BM,j}(P_{M,j}^*) > E(\pi_{BM,j}(P_{B,j}^*)) \quad (1.17)$$

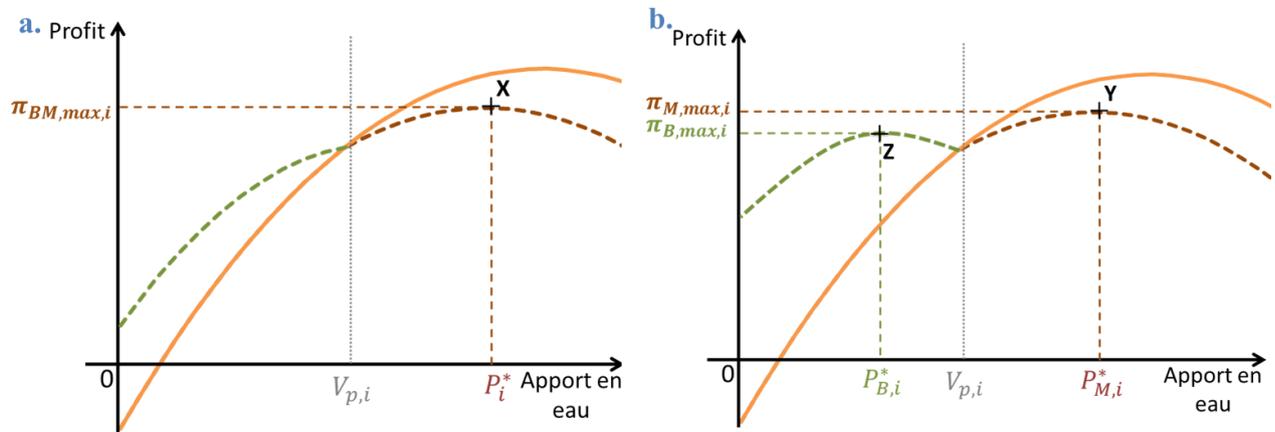


Figure 1 - 6 : Deux cas de figure qui vont inciter l'agriculteur à choisir la stratégie malus. Sur la figure a, il existe un maximum en malus (point X), mais pas en bonus. Sur la figure b, il existe deux maxima, un en bonus (point Z), un en malus (point Y), mais le profit généré en malus est supérieur.

En conclusion, un agriculteur k choisira la stratégie bonus si :

(i) il existe un maximum à $\pi_{BM,k}$ pour $P_k < V_{p,k}$ et pas pour $P_k > V_{p,k}$ (Figure 1 - 7 - a.).

C'est-à-dire, d'après les (1.12) et (1.15) :

$$m > 2\alpha_k V_{p,k} + \beta_k \text{ et } E(b) > 2\alpha_k V_{p,k} + \beta_k \quad (1.18)$$

(ii) ou s'il existe deux maxima à $\pi_{BM,k}$ pour $P_k < V_{p,k}$ et pour $P_k > V_{p,k}$, et que le profit maximal en bonus est supérieur au profit maximal en malus (Figure 1 - 7 - b.). C'est-à-dire, d'après les équations (1.12) et (1.15) :

$$m < 2\alpha_k V_{p,k} + \beta_k \text{ et } E(b) > 2\alpha_k V_{p,k} + \beta_k \text{ et } \pi_{BM,k}(P_{M,k}^*) < E(\pi_{BM,k}(P_{B,k}^*)) \quad (1.19)$$

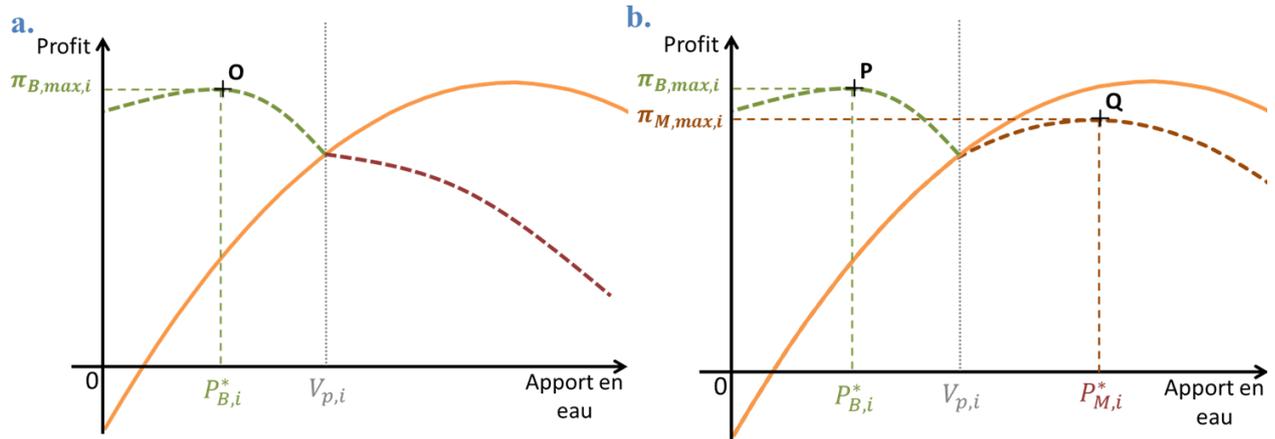


Figure 1 - 7 : Deux cas de figure qui vont inciter l'agriculteur à choisir la stratégie bonus. Sur la figure a, il existe un maximum en bonus (point O), mais pas en malus. Sur la figure b, il existe deux maxima, un en bonus (point P), un en malus (point Q), mais le profit généré en bonus est supérieur.

3.2.2.2. Condition de compensation des volumes

La deuxième condition que doit satisfaire le montant m du malus est que les dépassements des agriculteurs j soient compensés par les économies des agriculteurs k , c'est-à-dire :

Condition de compensation :

$$\sum_j (P_j^* - V_{p,j}) = \sum_k (V_{p,k} - P_k^*) \quad (1.20)$$

Soit, d'après les équations (1.11) et (1.14) $\Leftrightarrow J \times \left(\frac{m - \beta_j}{2\alpha_j} - V_{p,j} \right) = K \times \left(V_{p,k} - \frac{M - \beta_k}{2\alpha_k} \right)$ (1.21)

3.2.2.3. Conclusion sur le montant du malus

Le régulateur devra donc fixer un montant du malus qui respecte les conditions d'hétérogénéité des stratégies et de compensation des volumes, explicitées par les équations (1.16) à (1.19) et (1.21). Pour cela, il devra avoir une connaissance précise des fonctions de profit des irrigants, en particulier des paramètres α_i et β_i .

4. Instrument de régulation n°2 : le contrat solidaire

4.1.Principe

Le deuxième instrument proposé dans cette thèse repose à la fois sur des incitations économiques et sociales. Il joue donc sur les deux sources de motivation individuelle à coopérer : la maximisation du gain économique et l'utilité sociale.

Il consiste à offrir aux irrigants la possibilité de se regrouper et de signer un contrat dit « de solidarité », par lequel ils mutualisent leurs allocations en eau. La participation est volontaire mais est encouragée financièrement par l'organisation locale des irrigants du bassin (par exemple par une réduction de cotisation à l'association). Les irrigants ont donc un double intérêt économique à signer : (1) ils bénéficient d'une aide financière et (2) ils profitent d'une flexibilité accrue (étant donné qu'ils peuvent procéder à des arrangements et des échanges de volumes entre eux tant que l'allocation totale du groupe n'est pas dépassée). Cependant, si le groupe dépasse son volume prélevable total, une sanction collective est appliquée : chaque irrigant est tenu payer une sanction proportionnelle au dépassement total du groupe, quel que soit son prélèvement individuel. Ce type de sanction a été proposé par Segerson (1988) pour la gestion des pollutions diffuses et a été étudiée pour la gestion quantitative de l'eau sous forme de taxe ambiante (Giordana, 2007) et de taxe ambiante différenciée (Lenouvel, Montginoul, *et al.*, 2011). Enfin, la transparence est instaurée au sein du contrat afin de renforcer le contrôle mutuel : chaque membre du groupe a accès aux prélèvements effectués par les autres. Ainsi la « solidarité » qui caractérise le contrat a deux sens : c'est d'une part une forme d'altruisme et d'engagement envers ses pairs, qui favorise la volonté de mutualiser les allocations individuelles et de gérer un volume commun ; mais c'est aussi une responsabilité conjointe dans le respect de l'allocation du groupe.

Ce contrat de groupe s'inspire en partie de travaux sur les approches de groupes et les politiques s'appuyant sur les dynamiques collectives, notamment dans le cas des pollutions diffuses (Isik et Sohngen, 2003; Romstad, 2003). Le contrat solidaire proposé ici satisfait les conditions d'efficacité mises en évidence par Isik et Sohngen (2003) car il (i) est basé sur une obligation de résultat, (ii) reste

volontaire, (iii) inclut une incitation forfaitaire à rejoindre un groupe et (iv) inclut une incitation basée sur la performance du groupe pour respecter les règles.

Cet instrument s'appuie d'une part sur des incitations économiques pour pousser les irrigants à entrer dans un contrat (aide financière) et en respecter les termes (sanction collective). D'autre part, il exploite les préférences sociales des individus : l'engagement dans un contrat et la réallocation des volumes en interne sont favorisés par des mécanismes de communication et de concertation, qui s'appuient sur des sentiments de solidarité, de réciprocité et de confiance susceptibles d'exister entre irrigants d'une même communauté. Il suppose aussi que la délégation de la gestion de la ressource à un petit groupe d'utilisateurs favorise l'autorégulation, via le contrôle social et la pression des pairs. Cela correspond en fait à ce qu'Ostrom a nommé les « initiatives imbriquées » (« nested enterprises », Ostrom, 1990). Ces approches s'appuient sur l'hypothèse que les agents ont davantage d'informations sur leurs actions réciproques que l'autorité principale. Cette hypothèse est souvent vérifiée dans le secteur agricole où les irrigants d'un même bassin se connaissent, ont l'habitude d'échanger sur leurs pratiques et de s'observer. Elle sera renforcée dans le contrat par l'instauration de la transparence sur les prélèvements individuels au sein du groupe (via des techniques de télérelevé automatique des compteurs, reliée à une banque de données accessibles à tous les irrigants) qui devrait fortement inciter les irrigants à respecter leurs engagements respectifs (voir paragraphe 2.2). De plus, les irrigants appartiennent à un même réseau social et sont liés à leurs collègues par d'autres liens que les volumes d'irrigation qu'ils partagent. Aoki (2006) décrit cette situation comme la combinaison de deux « jeux » impliquant chacun un dilemme de l'action collective (coopérer ou non) : le jeu de l'irrigation (participer aux tâches de la gestion collective) et le jeu social (aider les autres en cas de maladie, de problème familial, etc.). Il montre que coopérer dans le jeu de l'irrigation permet de bénéficier des avantages du jeu social. On suppose donc que le fait d'appartenir à un contrat de solidarité augmentera leur propension à respecter les règles d'allocation afin de bénéficier des avantages des liens sociaux.

4.2. Modélisation du contrat solidaire

Reprenons la fonction de profit de l'équation (1.1) pour décrire la fonction de profit d'un agriculteur i hors contrat (HC) :

$$\pi_{i,HC}(P_i) = \alpha_i P_i^2 + \beta_i P_i + \gamma_i \quad (1.1)$$

En signant un contrat, l'agriculteur i bénéficie : (i) d'une aide financière de la part de l'association d'usagers, (ii) d'une flexibilité sur son prélèvement (réduction du risque) et (iii) des interactions professionnelles et sociales accrue avec d'autres irrigants.

Pour un même prélèvement, ces avantages économiques et sociaux augmentent le profit de l'agriculteur i par rapport à la situation hors contrat (Figure 1 - 8). On note B_i la somme des bénéfices induits par la signature du contrat par l'agriculteur i , que l'on considère fixe. Sa fonction de profit en contrat (C) s'écrit alors :

$$\pi_{i,C}(P_i) = \alpha_i P_i^2 + \beta_i P_i + \gamma_i + B_i \quad (1.22)$$

$$\text{avec } B_i = \delta + B_{i,\acute{e}co} + B_{i,soc}$$

Avec δ la réduction de cotisation accordée en cas de signature d'un contrat, $B_{i,\acute{e}co}$ les bénéfices économiques que l'agriculteur i tire de la flexibilité offerte par le contrat, et $B_{i,soc}$ les bénéfices sociaux qu'il tire des interactions professionnelles et sociales au sein du contrat.

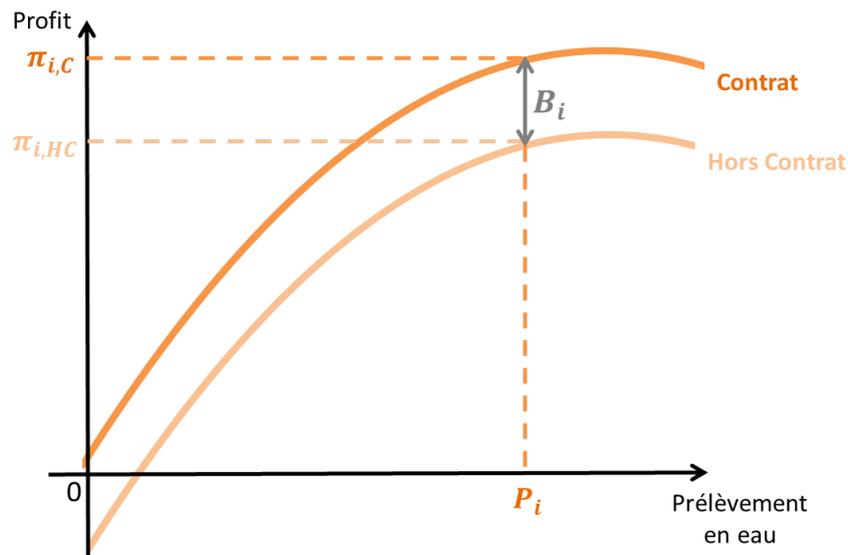


Figure 1 - 8 : Fonctions de profit de l'agriculteur i dans et hors contrat.

En revanche, si le volume total du groupe n'est pas dépassé, une sanction collective (S) est déclenchée et le profit de l'agriculteur i est réduit :

$$\pi_{i,C}^S(P_i) = \alpha_i P_i^2 + \beta_i P_i + \gamma_i + B_i - s \times (P_{TOT} - V_{p,TOT}) \quad (1.23)$$

Avec s le montant de la sanction collective (en € par m³ prélevé en excès), P_{TOT} le prélèvement total du groupe ($P_{TOT} = \sum_i P_i$) et $V_{p,TOT}$ le volume prélevable du groupe ($V_{p,TOT} = \sum_i V_{p,i}$).

De plus, si l'agriculteur i est celui qui a dépassé son allocation et déclenché la sanction collective, il perd les bénéfices sociaux $B_{i,soc}$ qu'il tire des interactions professionnelles et sociales au sein du contrat (rupture des échanges professionnels, rupture des liens d'entraide, etc.). Il reste alors :

$$\pi_{i,C}^S(P_i) = \alpha_i P_i^2 + \beta_i P_i + \gamma_i + (B_i - B_{i,soc}) - s \times (P_{TOT} - V_{p,TOT}) \quad (1.24)$$

D'après la théorie des contrats, pour que le contrat solidaire soit efficace, il faut qu'il réponde à deux contraintes : la contrainte de participation (l'agriculteur est incité à signer un contrat) et la contrainte d'incitation (l'agriculteur est incité à respecter les termes du contrat). Pour cela, le gestionnaire peut agir à la fois sur la composante économique de δ_i (réduction de cotisation) et sur le montant de la sanction collective s .

4.2.1. Contrainte d'incitation

La contrainte d'incitation veut que l'agriculteur soit incité à respecter les termes du contrat qu'il a signé. Pour cela, il faut que son profit lorsqu'il coopère en contrat soit supérieur à son profit lorsqu'il free-ride en contrat. Or, coopérer signifie prélever le volume qu'il s'est engagé à prélever au sein du groupe, qui est donc une allocation issue de la concertation entre les membres du contrat. Nous noterons cette allocation $V'_{p,i}$. Au contraire, free-rider signifie choisir le prélèvement P_i^* qui maximise son profit. On a donc, d'après les équations (1.22) et (1.24) :

$$\textbf{Contrainte d'incitation} : \quad \pi_{i,C}(V'_{p,i}) > \pi_{i,C}^S(P_i^*) \quad (1.25)$$

$$\Leftrightarrow \alpha_i V_{p,i}'^2 + \beta_i V_{p,i}' + \gamma_i + B_i > \alpha_i (P_i^*)^2 + \beta_i P_i^* + \gamma_i + (B_i - B_{i,soc}) - s \times (P_{TOT} - V_{p,TOT})$$

L'incitation doit être valable même s'il est le seul à dépasser, c'est-à-dire dans le cas où le dépassement total ($P_{TOT} - V_{p,TOT}$) est uniquement dû à son dépassement ($P_i^* - V'_{p,i}$) :

$$\Leftrightarrow \alpha_i V_{p,i}'^2 + \beta_i V_{p,i}' + \gamma_i + B_i > \alpha_i (P_i^*)^2 + \beta_i P_i^* + \gamma_i + (B_i - B_{i,soc}) - s \times (P_i^* - V'_{p,i})$$

En remplaçant P_i^* par $(V'_{p,i} + d_i)$, avec d_i le dépassement de i , on obtient :

$$s > 2\alpha_i V'_{p,i} + \alpha_i d_i + \beta_i - B_{i,soc} \quad (1.26)$$

Une fois connu le montant minimum s de la sanction pour inciter l'agriculteur i à ne pas dépasser, il faut faire de même pour les autres irrigants et choisir le plus grand montant calculé.

4.2.2. Contrainte de participation

La contrainte de participation veut que l'agriculteur soit incité à signer un contrat. Pour cela, il faut que son profit en contrat soit supérieur à son profit hors contrat. On suppose que la contrainte d'incitation est satisfaite et que l'irrigant en contrat prélève son allocation interne $V'_{p,i}$. Donc, d'après les équations (1.1) et (1.22) :

Contrainte de participation : $\pi_{i,C}(V'_{p,i}) > \pi_{i,HC}(P_i) \quad (1.27)$

$$\Leftrightarrow \alpha_i V'_{p,i}{}^2 + \beta_i V'_{p,i} + \gamma_i + B_i > \alpha_i P_i{}^2 + \beta_i P_i + \gamma_i$$

$$\Leftrightarrow B_i > 0 \quad (1.28)$$

$$\Leftrightarrow \delta + B_{i,\acute{e}co} + B_{i,soc} > 0 \quad (1.29)$$

Ainsi, pour que les irrigants soient incités à signer un contrat, il faut que B_i soit positif. En appliquant une réduction de cotisation, le régulateur augmente B_i et la probabilité que l'irrigant signe un contrat. Mais il n'agit que sur δ , qui n'est qu'une des trois composantes de B_i . Les bénéfices économiques et sociaux $B_{i,\acute{e}co}$ et $B_{i,soc}$ issus de la gestion collective sont aussi déterminants : si un irrigant estime qu'il n'a pas d'autre intérêt économique, voire que la gestion collective réduirait son utilité et qu'il n'a pas de bénéfice social à retirer, B_i peut s'avérer négatif et, dans ce cas, l'irrigant ne signera pas de contrat.

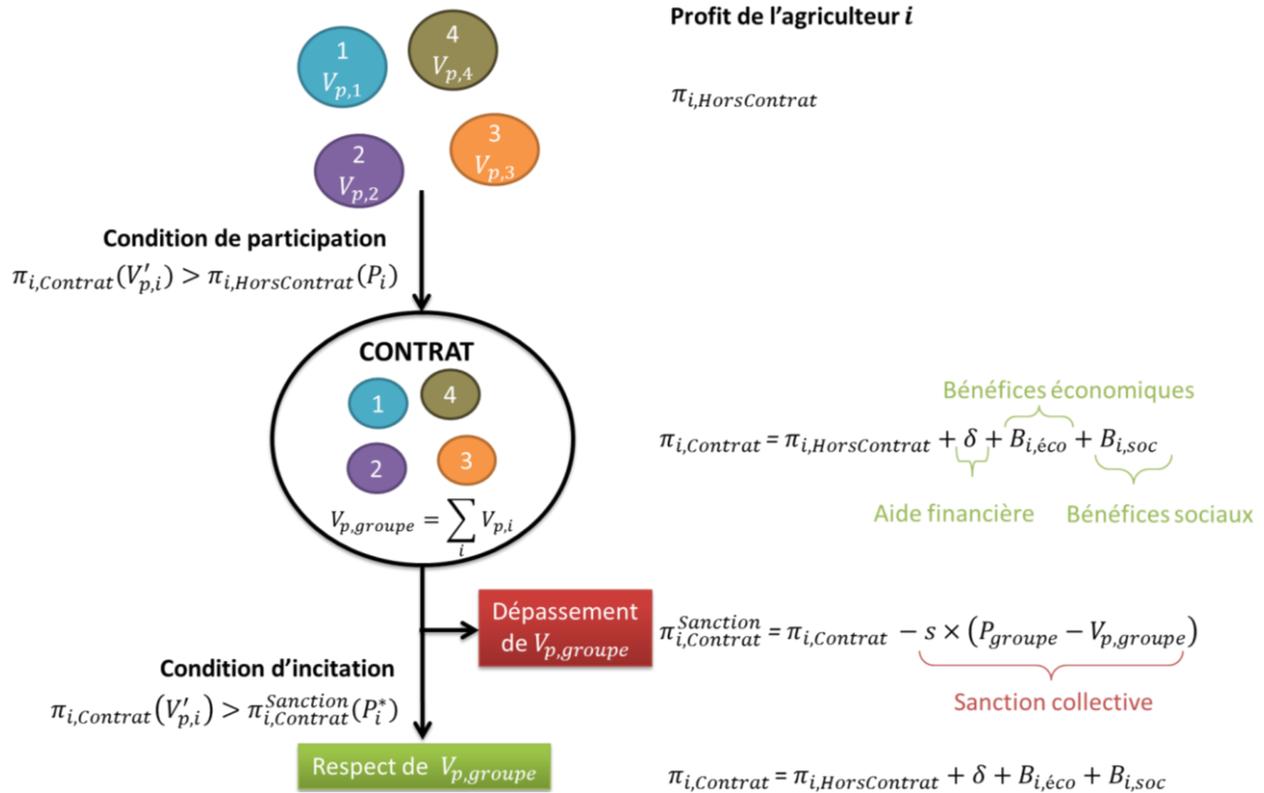


Figure 1 - 9 : Mécanismes du contrat solidaire

4.2.3. Conclusion

Le régulateur peut donc agir sur le montant δ de l'aide financière accordée pour inciter les irrigants à signer un contrat et sur le montant s de la sanction collective pour les inciter les irrigants à respecter leurs engagements dans le contrat. Cependant, d'après les équations (1.26) et (1.29), les bénéfices économiques et sociaux issus de la gestion collective sont aussi déterminants. Ainsi, le régulateur pourra adapter le montant de l'aide financière, ainsi que le montant de la sanction s en fonction des liens sociaux qui lient les irrigants dans le contrat : plus les liens sociaux entre irrigants sont forts, plus $B_{i,soc}$ est élevé et moins les montants des incitations économiques ont besoin de l'être.

CONCLUSION PARTIELLE

Dans ce premier chapitre, nous proposons deux instruments pour réguler les prélèvements agricoles en nappe, qui s'appuient sur deux courants d'incitations : les incitations purement économiques et les préférences sociales.

Le premier instrument propose de coupler deux incitations économiques en faisant payer un malus à ceux qui dépassent leur allocation individuelle, pour récompenser ceux qui économisent par un bonus. Ce système répond au besoin de flexibilité puisqu'il laisse le choix aux agriculteurs de prélever plus ou moins que leur allocation. L'enjeu pour le régulateur est d'estimer le montant du malus au bon niveau pour que les volumes prélevés en excès et ceux économisés se compensent à la fin de la saison d'irrigation.

Le second instrument mise à la fois sur des incitations économiques et des incitations sociales. Il prend la forme d'un contrat signé par un groupe d'irrigants qui s'engagent volontairement à mutualiser leurs allocations et respecter le volume global. La mutualisation permet une réallocation des volumes au sein du groupe et introduit donc de la flexibilité. La transparence et le contrôle mutuel, la pression sociale et l'engagement les uns envers les autres doivent permettre de faire respecter le contrat. Pour compléter ces incitations sociales, le régulateur applique des incitations financières : une aide financière en cas de signature de contrat et une sanction collective en cas de dépassement du volume prélevable du groupe.

Ces approches de régulation sont élaborées de façon à être théoriquement efficaces. Cependant, les hypothèses théoriques ne sont pas toujours vérifiées dans la réalité (la rationalité économique des individus notamment). De même, la diversité des situations sur le terrain suppose des contraintes et des conditions variables pour l'application des instruments. Nous souhaitons évaluer l'efficacité réelle et les potentialités des instruments pour réguler les prélèvements sur le terrain, ainsi qu'à identifier les conditions naturelles qui favoriseraient leur réussite.

CHAPITRE 2

Méthodologie d'évaluation des instruments

Nous avons proposé deux instruments de régulation des prélèvements agricoles en nappe dont l'objectif est de faire respecter l'allocation en eau attribuée aux irrigants, tout en maintenant la flexibilité nécessaire à l'activité agricole. Pour évaluer la capacité de ces instruments à atteindre ce double objectif, nous avons mis en œuvre une méthodologie d'évaluation ex-ante basée sur la mobilisation successive d'une approche participative puis d'une approche expérimentale. Ce chapitre présente les méthodes utilisées et justifie les choix méthodologiques réalisés. La première partie est une introduction aux choix méthodologiques généraux opérés dans cette thèse. La deuxième partie présente l'approche participative déployée pour réaliser une évaluation qualitative des instruments à partir des critères d'efficacité, d'acceptabilité et de faisabilité. La troisième partie décrit l'approche expérimentale d'évaluation quantitative des instruments et en particulier l'originalité du protocole utilisé par rapport à la littérature existante. Enfin, notre démarche étant fortement ancrée sur le terrain, la quatrième et dernière partie présente les cinq sites d'étude sur lesquels la méthode a été appliquée et leur diversité hydrogéologique, agricole et institutionnelle.

1. Objectifs de l'évaluation et choix méthodologiques généraux

1.1. Objectifs de l'évaluation

Les instruments de régulation présentés dans le chapitre précédent sont supposés être efficaces sur la base d'un certain nombre d'hypothèses issues de la théorie économique. Ces hypothèses sont notamment relatives aux déterminants des choix des agents économiques et à l'environnement dans lequel ils évoluent (utilité strictement économique des agents, information complète, prix constants, etc.). Or, ces hypothèses ne sont que rarement réunies dans la réalité, si bien que l'efficacité des instruments dans les conditions réelles de mise en œuvre n'est pas garantie.

L'objectif de la thèse consiste donc à évaluer l'efficacité réelle des instruments s'ils étaient appliqués. Plus largement, l'évaluation proposée ici est réalisée au regard de plusieurs critères dont : efficacité environnementale (capacité à faire respecter le volume prélevable), capacité à assurer une certaine flexibilité dans le système de quota, faisabilité pratique (technique, organisationnelle, financière, etc.), acceptabilité et capacité d'adaptation à différents contextes locaux.

Mesurer l'efficacité environnementale des instruments, c'est-à-dire leur capacité à faire respecter le volume prélevable, est l'objectif principal de l'évaluation. Il s'agit de mesurer les effets induits par les instruments sur les comportements des agriculteurs et plus particulièrement sur leur stratégie d'irrigation. Si ces comportements ne correspondent pas à ceux prédits par la théorie, nous chercherons à identifier les facteurs qui interfèrent dans l'application des instruments et favorisent ou limitent leur efficacité (climat, hydrogéologie, facteurs économiques, contexte institutionnel, tissu social, etc.).

L'évaluation devra également permettre de juger la capacité des instruments à assouplir le système de quotas individuels stricts, c'est-à-dire leur capacité à offrir aux irrigants la possibilité de prélever un volume différent de leur quota, selon un choix économiquement rationnel.

La faisabilité des instruments est évaluée au travers de l'aspect pratique de l'application des instruments, tant sur le plan technique (adaptation au contexte physique et climatique et aux éventuels réseaux d'eau existants), qu'organisationnel (adaptation aux institutions déjà en place) et financier.

Nous cherchons également à évaluer l'acceptabilité des instruments. En effet, au-delà de la modification des comportements de prélèvement, les instruments pourront avoir des impacts sur : les individus, les interactions sociales, les institutions en place, l'économie locale, etc. L'acceptabilité est donc analysée comme la résultante de plusieurs facteurs : la compatibilité des instruments avec les valeurs morales et éthiques dominantes au sein de la communauté ; leur légitimité technique, institutionnelle et cognitive ; la remise en cause d'intérêts économiques acquis au sein de la population concernée.

Enfin, la réalité présente une diversité de contextes et de situations locales, à laquelle les instruments doivent pouvoir s'adresser. Nous souhaitons donc étudier l'impact de différentes conditions d'application des instruments sur leur efficacité et ce afin d'envisager les adaptations possibles.

1.2. Deux méthodes d'évaluation complémentaires

1.2.1. Une évaluation ex-ante

L'évaluation des politiques publiques est une problématique qui a amené les chercheurs et décideurs à développer des méthodes diverses. La plupart d'entre elles offre une évaluation ex-post, c'est-à-dire qu'elles mesurent l'effet d'une politique publique après son application (Harrison et List, 2004; Studer, Brocas, *et al.*, 2010). Par exemple, c'est le cas des méthodes économétriques, qui, sur la base de données de terrain préexistantes, permettent de modéliser la relation statistique qui existe entre des variables décrivant le comportement des agents économiques d'une part, et des variables décrivant les politiques mises en place et les conditions générales d'autres part.

A l'inverse, notre démarche d'évaluation est ex-ante, c'est-à-dire qu'elle consiste à tester nos instruments économiques et à en évaluer les effets avant de les déployer. De telles évaluations ex-ante font souvent appel à la modélisation mathématique, qui repose sur la représentation stylisée d'un système, sur lequel sont appliqués des changements en entrée afin d'en mesurer les impacts sur des variables suivies en sortie. Dans notre cas, la modélisation ne répond pas à plusieurs de nos objectifs tels que : mettre en évidence les déterminants non économiques de la fonction d'utilité (les modèles s'appuient sur l'hypothèse de maximisation d'une fonction de profit économique) ou

représenter une diversité de contextes et de conditions environnementales, économiques et sociales (Harrison et List, 2004; Croson et Gächter, 2010; List, Sadoff, *et al.*, 2011).

1.2.2. Une implication des acteurs dans la recherche

Notre démarche d'évaluation est caractérisée par l'implication des acteurs de terrain dans le travail de recherche, et en particulier de la population cible. L'hypothèse sous-jacente est que les acteurs locaux disposent d'un savoir complémentaire à celui des chercheurs qu'ils peuvent mobiliser pour évaluer les effets d'une politique s'appliquant au système socio-économique dans lequel ils évoluent.

Nous avons choisi d'utiliser successivement deux méthodes d'évaluation distinctes mais complémentaires, qui diffèrent de par leurs postures scientifiques et les résultats qu'elles permettent de produire (Tableau 2 - 1). Le but de l'usage séquentiel de ces deux méthodes est de produire une analyse robuste obtenue par le croisement des résultats (Figure 2 - 1).

La première méthode s'inscrit dans le courant de la recherche participative, c'est-à-dire qu'elle implique les acteurs locaux, et en particulier les individus affectés par la mesure évaluée, dans le processus d'évaluation. Le recours à une méthode participative met l'expertise des acteurs locaux au cœur de la démarche d'évaluation. La méthode que nous avons déployée repose sur l'échange et la co-construction de connaissances entre les chercheurs et les acteurs locaux. Les résultats sont d'autant plus robustes qu'ils sont obtenus par triangulation (multi-sites, multi-acteurs) et confrontation des opinions. Par rapport à une analyse strictement basée sur des outils d'évaluation économique (modèles, économétrie, etc.), elle doit permettre d'élargir l'analyse et d'aborder non seulement la question de l'efficacité des instruments, mais aussi celle des conditions économiques, environnementales et sociales qui pourront favoriser ou limiter leur mise en œuvre. Elle permet aussi d'identifier les modifications du système socio-économique que la théorie ne permet pas de prévoir, dont les impacts sur l'économie locale, sur les institutions en place, sur les liens sociaux, etc. L'évaluation produite s'appuie sur davantage de critères que la seule efficacité environnementale : elle prend en compte l'acceptabilité sociale, la faisabilité technique, les risques générés, etc.

Tableau 2 - 1 : Comparaison et complémentarités des deux méthodes d'évaluation mobilisées dans la thèse.

	Méthode qualitative Ateliers participatifs	Méthode quantitative Economie expérimentale
Posture scientifique	Proche de la recherche participative, reposant sur l'hypothèse de co-construction de connaissances par un processus d'hybridation des savoirs experts et des savoirs locaux	Approche conventionnelle de la science, dont l'objectif est d'établir des liens de causalité entre deux phénomènes, ici les instruments de régulation et les stratégies individuelles de prélèvement
Objectifs	Evaluer l'efficacité potentielle des instruments, leur faisabilité opérationnelle à l'échelle locale et caractériser leur acceptabilité sociale	Mesurer l'effet des instruments sur les comportements individuels de prélèvement en eau
Méthode	Etablissement d'un dialogue avec les acteurs Mise en débat des instruments comme des options de gestion critiquables	Expérience reproduisant une situation économique réelle de façon stylisée Observation des comportements et mesure des variations
Critères de validité	Robustesse obtenue par triangulation (multi-sites, multi-acteurs) Recherche de l'hétérogénéité et confrontation des extrêmes (dans les acteurs et opinions)	Validité interne : contrôle des paramètres expérimentaux, robustesse des liens de causalité par outils statistiques Validité externe : expérience reproductible, contextualisation
Type de connaissance produite	Argumentaires Mise en évidence de facteurs favorables et défavorables à l'efficacité des instruments sur le terrain	Comparaison des observations empiriques avec la prédiction théorique Confirmation ou infirmation des hypothèses théoriques sous-jacentes aux instruments

La seconde méthode s'inscrit dans une approche conventionnelle de la science, visant à étudier un phénomène réel en le reproduisant dans des conditions contrôlées permettant de mesurer l'effet de la variation isolée d'un paramètre sur le phénomène. Elle s'appuie sur des expériences d'économie qui simulent les instruments et permettent d'en observer et d'en mesurer les effets. Elle se caractérise par un haut niveau de « contrôle » des conditions dans lesquelles les instruments sont évalués, pour que les liens de causalité mis en évidence entre les instruments et leurs effets soient robustes. L'analyse se concentre alors sur un nombre limité d'effets pour les étudier dans le détail. Dans notre cas, nous nous intéressons particulièrement à l'efficacité environnementale des instruments, c'est-à-dire la façon dont

ils influent sur le niveau de prélèvement en eau. La méthode expérimentale doit permettre de quantifier ces changements, de les confronter avec la prédiction théorique ainsi que de comparer les modifications de comportements entre les populations et les terrains d'étude.

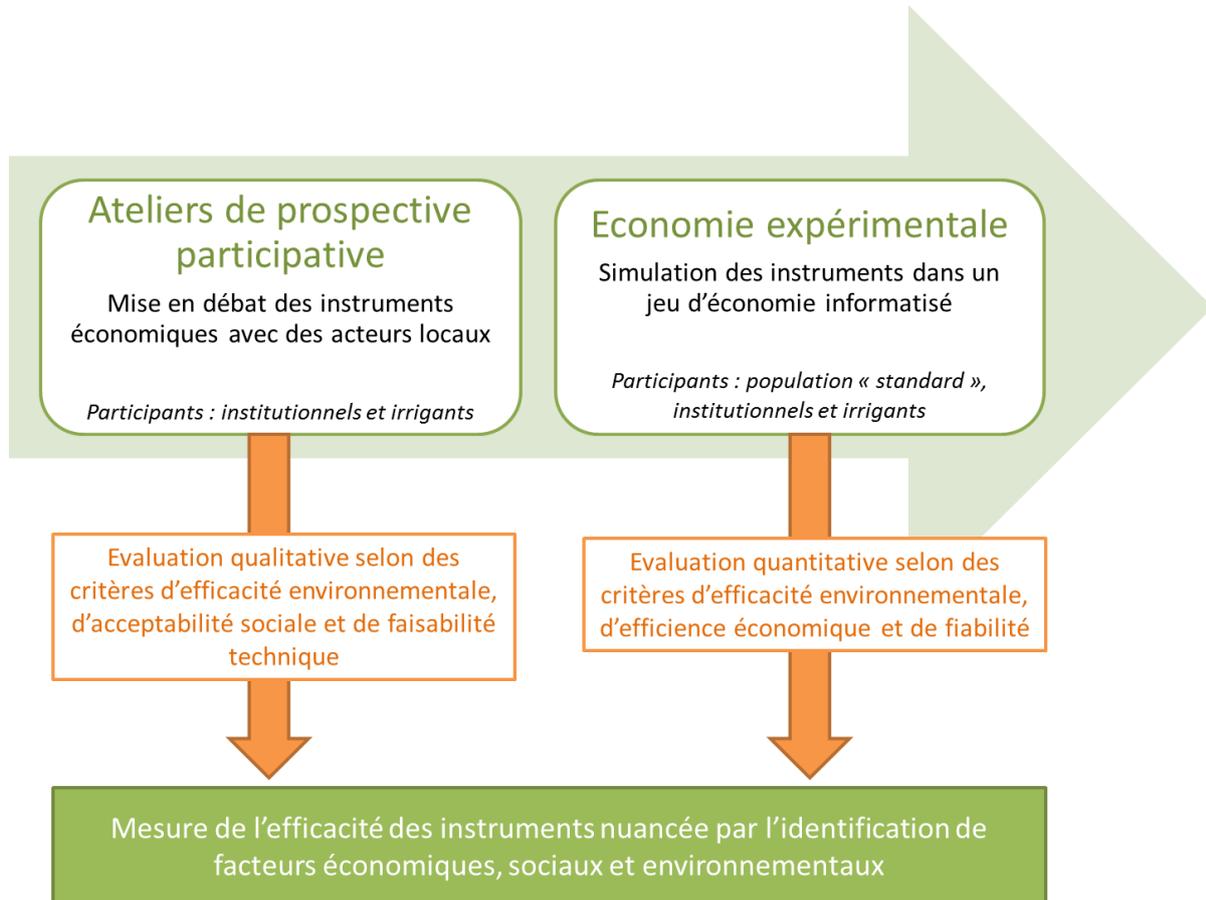


Figure 2 - 1 : Méthodologie adoptée pour l'évaluation des instruments et apports respectifs des deux approches participative et expérimentale

2. Evaluation par l'approche de prospective participative

2.1. Une approche inspirée des méthodes de recherche participative

La participation recouvre de très nombreuses applications, allant de la simple diffusion d'information aux acteurs locaux à leur réelle implication dans la prise de décision (Arnstein, 1969). Nous nous inspirons en partie des méthodes de recherche participative, qui se distinguent des méthodes conventionnelles de participation par le transfert au moins partiel du pilotage de la recherche aux acteurs concernés et potentiellement bénéficiaires de ses résultats (Cornwall et Jewkes, 1995).

La principale caractéristique de la recherche participative est d'impliquer dans le processus de recherche les personnes sur lesquelles porte l'étude (Pain, 2004), en opposition à la recherche basée

sur la seule expertise de ceux qui la mènent. Elle suppose que les acteurs locaux, et en particulier la population ciblée, sont compétents et expérimentés et donc les plus à même d'évaluer les effets d'une politique sur le système socio-économique dans lequel ils évoluent. Blackstock (2007) définit la recherche participative à la fois comme une façon de générer de nouvelles idées, concepts ou théories et comme un moyen de vérifier d'adapter ou de redéfinir des idées, concepts ou théories préexistants.

Le fait d'impliquer les acteurs dans le processus de recherche est à la fois source d'informations de qualité sur une problématique ou sur un système donné, mais aussi source d'idées et de perspectives nouvelles (Reed, Fraser, *et al.*, 2006). Elle est un moyen d'entrevoir les effets d'une politique et permet aussi d'en anticiper les résultats imprévisibles théoriquement (Fischer, 2000; Beierle, 2002; Newig, 2007). Elle est complémentaire des connaissances scientifiques et permet d'en compenser les failles en offrant une meilleure compréhension des systèmes complexes et de leurs conditions de fonctionnement (Blackstock, Kelly, *et al.*, 2007; Reed, 2008).

Plusieurs typologies ont été proposées pour classer les différentes méthodes de recherche participative, en se basant sur des critères tels que le degré de participation des acteurs, le fondement théorique (normatif ou pragmatique) ou les objectifs poursuivis (pour une revue des typologies existantes, voir Blackstock, Kelly, *et al.* (2007) et Reed (2008)).

2.2. Une approche participative, prospective et exploratoire

2.2.1. Principes généraux

Dans notre cas, le recours à la participation est motivé par l'objectif d'anticiper les modifications que pourraient induire les instruments dans la réalité, les confronter avec les prédictions théoriques et évaluer leur compatibilité avec les institutions et les valeurs (morales, sociales, éthiques) de la communauté des agents concernés. Pour cela, nous voulons comprendre le système socio-économique dans lequel évolue la population cible, ainsi que les interactions que les agents entretiennent entre eux et avec leur environnement. Il s'agit donc de recueillir des informations d'ordre technique, institutionnel, économique, agronomique et social afin de comprendre les conditions dans lesquelles un agriculteur prend ses décisions d'irrigation et comment elles l'influencent.

La principale caractéristique de la participation telle que nous l'avons mobilisée, et ce qui la distingue de la majorité des méthodes participatives, c'est qu'elle est exploratoire, c'est-à-dire qu'elle n'est pas motivée par une prise de décision à court ou moyen terme. Elle vise plutôt à explorer différentes pistes d'évolutions futures de la gestion de l'eau, sans que ces futurs possibles ne correspondent à une stratégie envisagée par les décideurs publics, ni que les résultats issus de la participation aient un impact immédiat sur les politiques publiques.

Ainsi, notre utilisation de la participation est motivée par l'objectif de faire progresser la connaissance (« research-driven participation », Okali, Sumberg, *et al.* (1994)), en opposition à la recherche participative guidée par l'objectif de faire émerger des solutions innovantes aux problèmes identifiés par les acteurs locaux (« development-driven participation »).

La méthode que nous utilisons peut être considérée comme « consultative » selon la typologie que Biggs (1989) propose en fonction du niveau de participation et de la nature du transfert de pilotage de la recherche. Contrairement à des méthodes dites « collaboratives » ou « collégiales », elle vise à recueillir des informations auprès d'acteurs locaux et de parties prenantes sans chercher le renforcement des pouvoirs décisionnels des participants.

Enfin, son fondement théorique est « pragmatique », dans le sens de Reed (2008), c'est-à-dire qu'elle est utilisée comme un moyen pour parvenir à un résultat (en opposition à un fondement « normatif » selon lequel les participants doivent, par principe, prendre part aux décisions qui les affectent), qui est ici de mobiliser des points de vue multiples pour améliorer la compréhension d'un système et de ses problématiques, et ainsi choisir des solutions appropriées (Blackstock, Kelly, *et al.*, 2007).

Enfin, notre démarche est prospective : les évolutions futures proposées et discutées par les participants sont volontairement éloignées dans le temps (horizon temporel entre 2025 et 2035) afin d'extraire les participants du présent et des problématiques immédiates pour les projeter dans le futur et générer un débat neuf. Ce caractère exploratoire, détaché de toute décision immédiate, doit permettre de maintenir une diversité des points de vue et de ne pas faire dériver le débat vers la recherche de solutions consensuelles qui ne sont pas toujours les plus efficaces (Coglianese, 1999; van de Kerkhof, 2006).

2.2.2. Méthodologie opérationnelle

Nous avons donc choisi de conduire des ateliers de prospective avec des agriculteurs et des institutionnels de la gestion de l'eau et de l'agriculture. Nous avons choisi une approche par les « focus group » plutôt que la consultation des acteurs en bilatéral, car cela permet : (i) l'acquisition d'information rapide et la compréhension de problèmes complexes (Reed, Graves, *et al.*, 2009) , (ii) la triangulation des informations et (iii) l'enrichissement progressif de la discussion et des argumentaires.

Ces ateliers s'appuient sur la présentation et la discussion des instruments sous forme de scénarios de régulation des prélèvements agricoles en nappe dans le futur, et sont inspirés d'une méthode déjà mise en œuvre en France, au Portugal et au Maroc par Rinaudo, Montginoul, *et al.* (2012) ou Kuper, Faysse, *et al.* (in press). Elle consiste à proposer des options de futur contrastées, présentées comme support de discussion à déconstruire, critiquer et recombinaison. Le choix a été fait d'apporter sur le terrain des scénarios préconçus, principalement en raison de la contrainte de disponibilité des participants.

Ces ateliers consistent à réunir une quinzaine d'acteurs locaux auxquels sont successivement présentées les deux stratégies de régulation proposée dans cette thèse. A l'issue de chaque présentation, les participants remplissent un questionnaire visant à recueillir leur opinion quant à la stratégie décrite ; ils sont ensuite invités à s'exprimer un par un puis à débattre dans une discussion ouverte. Le but est ici d'encourager chaque participant à s'exprimer et d'éviter que des dynamiques de groupe préexistantes empêchent certains de donner leur point de vue (Reed, 2008). C'est également pour cette raison que les publics ont été volontairement séparés (agriculteurs et représentants institutionnels, séparés pour maintenir une liberté de parole) et les groupes maintenus à un effectif limité (entre 10 et 15 participants).

Sur chaque site d'étude, deux à trois ateliers ont été conduits avec des populations différentes porteuses de visions contrastées, afin de croiser les sources et les informations et ainsi produire une analyse la plus objective possible.

La méthode participative mobilisée dans la thèse vise donc à recueillir des informations sur les systèmes socio-économiques et environnementaux déterminant les conditions dans lesquelles seront

mis en œuvre les instruments de régulation proposés dans la thèse. Elle doit permettre de les évaluer en termes d'efficacité, d'acceptabilité et de faisabilité technique.

3. Approche expérimentale

3.1. Objectifs

La seconde méthode d'évaluation complète l'approche participative en offrant une analyse quantitative, permettant notamment de mesurer l'intensité des changements de comportements induits par les instruments. Les objectifs de cette deuxième évaluation sont : (i) tester les instruments et les évaluer selon des critères de performance quantitatifs (efficacité environnementale, efficacité économique, fiabilité), (ii) tester les hypothèses formulées sur les comportements (rationalité) et mettre en évidence des comportements déviants par rapport à la prédiction théorique et (iii) capturer des effets de contexte, c'est-à-dire des différences de comportements imputables à l'expérience personnelle que le sujet apporte depuis la réalité vers le jeu.

Pour remplir ces objectifs, nous avons choisi de mobiliser les approches expérimentales, qui présentent les avantages suivants :

- i. Elles permettent de tester une théorie et les hypothèses associées, d'en déterminer les conditions et l'étendue de validité (Bardsley, Cubitt, *et al.*, 2009; Croson et Gächter, 2010).
- ii. Si des « irrégularités » sont mises en évidence, elles permettent d'affiner la théorie (Croson et Gächter, 2010), voire, si l'on s'inscrit dans un nouveau paradigme économique basé sur un processus inductif empirique tel que revendiqué par Bardsley, Cubitt, *et al.* (2009), d'élaborer de nouvelles théories.
- iii. Elles sont caractérisées par un contrôle élevé des paramètres de production des données, ce qui permet d'inférer des liens de cause à effet fiables, robustes et avec une validité élevée (List, 2009). Le contrôle est aussi gage de réplicabilité et donc de vérifiabilité (Charness, 2010).
- iv. Elles limitent le biais hypothétique (i.e. le fait que la dimension fictive de l'étude n'incite pas les sujets à prendre les mêmes décisions qu'ils prendraient dans la réalité) et ainsi révèlent les comportements « réels » des sujets (Luchini et Watson, 2014), par opposition aux méthodes de préférences déclarées (évaluation contingente, analyse conjointe). En effet, les sujets sont mis en

situation, motivés par une rémunération et ainsi incités à adopter un comportement réel. Par expérience, on sait que les comportements dans les jeux diffèrent des déclarations faites lors d'une phase d'ateliers préparatoires (Lenouvel, 2011).

Ainsi, la mobilisation de l'outil expérimental dans cette thèse est motivée par sa capacité à simuler et tester des instruments de politique publique dans une évaluation ex-ante (Ploner, 2012; Serra, 2012).

3.2. Une expérience impliquant la population cible

La principale limite de la méthode expérimentale réside dans le fait que les résultats empiriques ne sont pas directement transposables à la réalité, notamment lorsqu'ils sont produits dans des conditions de laboratoire, par définition artificielles (Harrison et List, 2004; List, 2009; Smith, 2010; Serra, 2012). Ceci justifie l'emploi d'expérimentations conçues de façon à se rapprocher des conditions naturellement présentes sur le terrain, les « field experiments ».

Les expériences de terrain se situent à l'interface entre les travaux empiriques (s'appuyant sur des données de terrain produites de façon non contrôlée) et les expériences en laboratoire (Serra, 2012). Harrison et List (2004) proposent six critères qui déterminent le caractère « field » d'une expérience : nature des sujets, nature des informations fournies aux sujets, nature du bien simulé, nature de la tâche à réaliser, nature de l'enjeu (incitation monétaire) et nature de l'environnement de jeu. Aucun de ces critères n'est nécessaire ou suffisant pour qu'une expérience soit dite « de terrain », et les auteurs admettent qu'ils peuvent être remplis à différents degrés.

Dans notre cas, nos expériences de terrain sont d'abord caractérisées par la mobilisation de sujets issus de la population ciblée par les instruments testés, en accord avec le principe énoncé par Harrison et List (2004) : « *Taking the task to the subjects who care about it* ». En plus des expériences en laboratoire sur population dite « standard », nous avons donc réalisé des expériences faisant appel à des agriculteurs, dont le comportement est supposé différent : les agriculteurs sont directement concernés par la problématique de gestion d'une ressource en eau et leur raisonnement économique sera imprégné par cette réalité. Cette application à la population cible est indispensable à l'amélioration de la validité externe des expériences.

Nous avons également choisi de répliquer l'expérience auprès d'une population d'institutionnels de la gestion de l'eau et de l'agriculture, que nous considérons comme une population « intermédiaire » entre la population standard et la population cible : conscients des enjeux de la gestion de l'eau agricole, ils n'en sont cependant pas directement affectés.

3.3. Une expérience contextualisée

Notre protocole expérimental remplit trois autres critères énoncés par Harrison et List (2004) : il adapte la nature de l'information fournie au joueur, la nature du bien représenté et la nature de la tâche à réaliser au contexte particulier des prélèvements agricoles en eau souterraine. Selon la typologie de ces mêmes auteurs, nos expériences relèvent donc des « *framed field experiments* », c'est-à-dire des expériences de terrain contextualisées. Contrairement au courant principal de l'économie expérimentale, le jeu que nous développons n'est pas abstrait et décontextualisé puisqu'il s'applique à un cas particulier : la gestion des prélèvements agricoles dans une ressource en eau souterraine. Nous

avons choisi de contextualiser les expériences pour deux raisons. D'une part pour augmenter la validité externe des résultats expérimentaux : intuitivement, on peut supposer qu'un individu se comporte différemment lorsqu'il est confronté à un bien commun de type ressource naturelle (air, eau, sol,...) et à une problématique environnementale (surexploitation, pollution,...) plutôt qu'à une situation d'extraction ou de dégradation d'un bien abstrait. D'autre part, il est nécessaire d'insérer le jeu dans un contexte qui soit familier aux sujets de terrain, afin qu'ils s'y projettent et qu'ils apportent leur expérience personnelle depuis la réalité vers le jeu (un de nos objectifs étant de capturer cet effet). Plus simplement, c'est aussi un moyen de garantir une bonne compréhension du jeu et de la tâche à réaliser (Harrison et List, 2004).

La principale limite des expériences de terrain réside dans la réduction du contrôle des paramètres expérimentaux et donc une réduction de la validité interne, c'est-à-dire de la robustesse des liens de causalité⁶. La contextualisation doit donc rester limitée : pour atteindre un compromis entre validité interne et validité externe ; parce que le jeu doit rester assez générique pour être compris et approprié par tous les types de joueurs et sur tous les sites d'étude, laissant l'espace libre aux acteurs locaux d'y ajouter des éléments de leur contexte propre.

3.4. Un protocole original pour une meilleure validité externe

A notre connaissance, encore peu de travaux mobilisent des protocoles expérimentaux contextualisés qui soient déployés sur le terrain dans le but d'explorer des instruments de régulation d'une ressource commune. Les travaux existants s'intéressent le plus souvent à la gestion des stocks de pêche et testent les effets de différentes mesures de régulation sur les comportements d'extraction. Ainsi Moreno-Sánchez et Maldonado (2010) se sont interrogés sur l'intérêt de la co-gestion pour réguler la pêche en Colombie. Travers, Clements, *et al.* (2011) ont testé quatre régimes de gestion d'une ressource piscicole dans des villages au Cambodge. Velez, Murphy, *et al.* (2010) ont comparé régulations formelles et informelles pour réduire les prélèvements de poissons en Colombie. Cardenas, Janssen, *et al.* (2008) élargissent volontairement le panel de ressources représentées dans les

⁶ La question fait tout de même débat, certains auteurs établissant une corrélation positive entre contextualisation et contrôle (les informations fournies offrent un cadre de jeu complet et le sujet n'a plus besoin d'apporter de matière personnelle pour le rendre compréhensible, voir notamment Harrison et List (2004).

expériences de terrain afin de comparer les résultats expérimentaux d'un jeu du bien commun en fonction de la nature de la ressource simulée (pêche, forêt, eau d'irrigation). De même, d'Adda (2011) a conduit des expériences contextualisées en Bolivie pour comparer une régulation externe monétaire à une régulation interne non-monétaire pour gérer d'une part les ressources forestières et d'autre part l'eau souterraine. Sur la ressource en eau en particulier, Giordana (2007) puis Lenouvel (2011) ont utilisé des expériences contextualisées et mobilisé des agriculteurs du Sud de la France (Roussillon) pour explorer des déclinaisons de la taxe ambiante pour réguler les prélèvements agricoles en nappe.

Ainsi, il existe à notre connaissance peu de travaux expérimentaux présentant des protocoles d'extraction d'une ressource commune appliqués à l'eau d'irrigation, tout comme peu d'entre eux s'appliquent à des cas d'étude en Europe ou dans les pays du Nord. Ceci nous a amenés à nous inspirer des protocoles de jeu d'extraction existants mais en les modifiant pour répondre à nos objectifs et en les calibrant pour correspondre à nos terrains d'étude.

Notre expérience place explicitement le sujet dans la situation d'un agriculteur devant prélever dans une ressource commune en eau souterraine pour irriguer ses cultures et se générer un revenu. Cette ressource est utilisée par trois préleveurs irrigants hétérogènes, caractérisés par différentes courbes de profit en fonction du prélèvement, c'est-à-dire par différentes capacités de valorisation de l'eau. Cette hétérogénéité est une caractéristique essentielle de la situation représentée dans l'expérience, elle doit y être intégrée car elle est à la base du fonctionnement des instruments de régulation du bonus-malus et du contrat solidaire (la compensation des dépassements par les économies ne pouvant avoir lieu sans hétérogénéité dans les types d'agriculteurs). Une autre caractéristique essentielle du contexte introduite dans le jeu est l'incertitude sur le climat qui impacte le profit des agriculteurs. Des résultats expérimentaux produits sans tenir compte de cette incertitude n'auraient aucune validité externe en agriculture. Trois traitements sont appliqués : (T0) un traitement de contrôle sans instrument de gestion, (T1) un traitement simulant le bonus-malus et (T2) un traitement simulant le contrat solidaire simplifié (sans communication). Le protocole est décrit plus en détail dans le Chapitre 4 de cette thèse.

L'originalité de notre protocole tient à la recherche d'un compromis entre représentation de la réalité et contrôle des paramètres de jeu. En effet, nous supposons qu'il est nécessaire que la

contextualisation reproduise un maximum de paramètres pouvant influencer la décision de prélèvement de l'agriculteur dans la réalité (type de culture, incertitude climatique, incertitude sur le prélèvement des autres), afin d'accroître la validité externe des résultats. Ce protocole place donc les sujets dans un cadre de jeu caractérisé par une information complète visant à leur offrir toutes les informations nécessaires pour la prise de décision, ce qui, selon certains auteurs, réduit le bruit dans les résultats (voir Harrison et List (2004)). Enfin, contrairement à certains travaux d'économie expérimentale sur la gestion des ressources communes, nous ne testons pas des modalités de gestion (avec ou sans communication, incitations monétaires ou non monétaires, jeu en *partner* ou *stranger*⁷, etc) mais plutôt des instruments de régulation composés de plusieurs modalités (combinaison d'incitations). En effet, notre objectif est d'évaluer des instruments dont l'efficacité supposée repose des mécanismes économiques élaborés et sur la combinaison de plusieurs incitations dont les effets sont complémentaires, à l'image des expériences qui simulent des mécanismes de marché ou d'enchères pour réguler l'accès à une ressource commune (Cason, Gangadharan, *et al.*, 2003; Stoneham, Chaudhri, *et al.*, 2003; Ehrhart, Hoppe, *et al.*, 2005; Schilizzi et Latacz-Lohmann, 2007; Ambec, Garapin, *et al.*, 2013).

3.5. Recueil d'information pour une meilleure interprétation des résultats

En contrepartie, la complexité de ce protocole nous oblige à adapter l'analyse des résultats et les conclusions que l'on en tire en prenant le temps de questionner la robustesse des causalités identifiées. Ainsi, pour améliorer la validité des résultats produits, nous avons choisi d'éclairer leur interprétation à la lumière de données supplémentaires recueillies par des débriefings et des questionnaires.

Une des grandes difficultés de l'économie expérimentale, notamment celle dite « de terrain », est d'interpréter correctement les liens de causalité qu'elle permet de mettre en évidence. Anderies, Janssen, *et al.* (2011) font état de la nécessité, pour les expérimentalistes, de collecter davantage d'information sur les mécanismes qui influent sur les prises de décision des sujets. Ces informations peuvent être d'ordre personnel, social ou environnemental (au sens large), et les auteurs passent en

⁷ Un jeu en *partner* consiste à faire jouer les sujets avec les mêmes partenaires sur plusieurs périodes de jeu. Un jeu en *stranger* mélange les partenaires de jeu à chaque période.

revue un certain nombre de méthodes permettant de recueillir ces différents types d'information (questionnaires, ateliers, jeux de rôles,...).

Le questionnaire reste un bon moyen de recueillir des données personnelles et des informations sur les choix des joueurs, malgré des biais inhérents à la méthode (doute sur la qualité de l'information recueillie, biais de l'effet des questions sur le jeu et vice-versa, problèmes de construction, de traitement, etc.). C'est pourquoi, nous avons choisi de terminer chaque jeu par un questionnaire à questions à choix multiples pour interroger le sujet sur les motivations de ses décisions et les stratégies qu'il a développées dans le jeu. L'expérience s'achève sur un questionnaire final permettant de recueillir des données personnelles (âge, genre, études,...).

De même, la connaissance préalable du contexte social et environnemental des sujets permet d'améliorer l'interprétation des résultats des expériences (Anderies, Janssen, *et al.*, 2011). L'avantage de notre démarche couplant ateliers de prospective et expériences réside dans le fait que les études de cas et les ateliers ont permis d'identifier les principales caractéristiques et problématiques spécifiques à chaque terrain d'étude (voir Tableau 2 - 2), qui sont autant de facteurs potentiels qui pourront expliquer les différences de résultats expérimentaux.

Enfin, pour aider l'analyse des résultats et comprendre les comportements observés, les expériences avec les acteurs de terrain ont toutes été suivies d'un « débriefing » avec comme support l'illustration graphique des résultats de l'expérience tout juste terminée. Cette discussion ouverte a pour but de laisser chaque sujet s'exprimer sur la façon dont il a pris ses décisions dans le jeu et ainsi de recueillir des éléments d'analyse pour interpréter les résultats de façon plus juste.

4. Une démarche répliquée sur 5 terrains d'étude

Une des principales caractéristiques de ce travail de thèse est d'être ancré sur le terrain. Le terrain est en effet le point de départ de la problématique traitée et nous cherchons à tenir compte de ses contraintes pour construire notre démarche. Cette partie présente les sites étudiés, qui sont davantage détaillés dans l'Annexe I.

4.1. Critères de choix des terrains

Nous avons répliqué notre travail sur cinq terrains d'étude en France, car nous cherchons à confronter nos concepts théoriques à une diversité de réalités, c'est-à-dire de contextes hydrogéologiques, agricoles, économiques et sociaux. L'idée est comparer les évaluations issues de terrains présentant des caractéristiques contrastées, afin de déterminer comment les instruments peuvent être modulés pour s'adapter aux spécificités d'un contexte local et ainsi accroître leur efficacité.

Dans le choix de nos terrains d'étude, nous avons voulu éviter les sites déjà très sollicités par la recherche en France (Beauce, Marais Poitevin, etc.), pour deux raisons principales : d'une part pour prévenir l'effet de « fatigue » due à une sollicitation récurrente des acteurs locaux dans des processus de recherche dont ils ne perçoivent pas toujours la finalité (Reed, 2008) et d'autre part pour recueillir des discours « neufs » et spontanés, dans le sens où ils ne sont pas encore élaborés dans un but stratégique pour orienter les résultats de la recherche. Nous avons donc cherché à identifier des nappes d'eau souterraine intensément exploitées par les usages anthropiques et particulièrement agricoles, conduisant à l'apparition de dommages environnementaux et/ou économiques (baisse du niveau de la nappe, assecs réguliers, conflits entre usagers, etc.) (Figure 2 - 2). Le deuxième critère de choix est l'existence d'une dynamique institutionnelle autour de la gestion des prélèvements agricoles, que ce soit par la mise en place d'un OUGC ou d'une autre organisation de représentation des irrigants.

Le choix des terrains d'étude s'est appuyé sur des entretiens avec des représentants institutionnels de l'eau et/ou de l'agriculture, des services déconcentrés ou d'organismes de recherche, tant à l'échelle nationale (Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie, ONEMA) que régionale (Agences de l'Eau, DREAL, BRGM, Irstea, DDT, Chambres d'Agriculture,...). Ces entretiens nous ont permis d'identifier cinq masses d'eau souterraine répondant à nos critères et pouvant potentiellement s'inscrire dans notre démarche (Figure 2 - 2 et Figure 2 - 3).

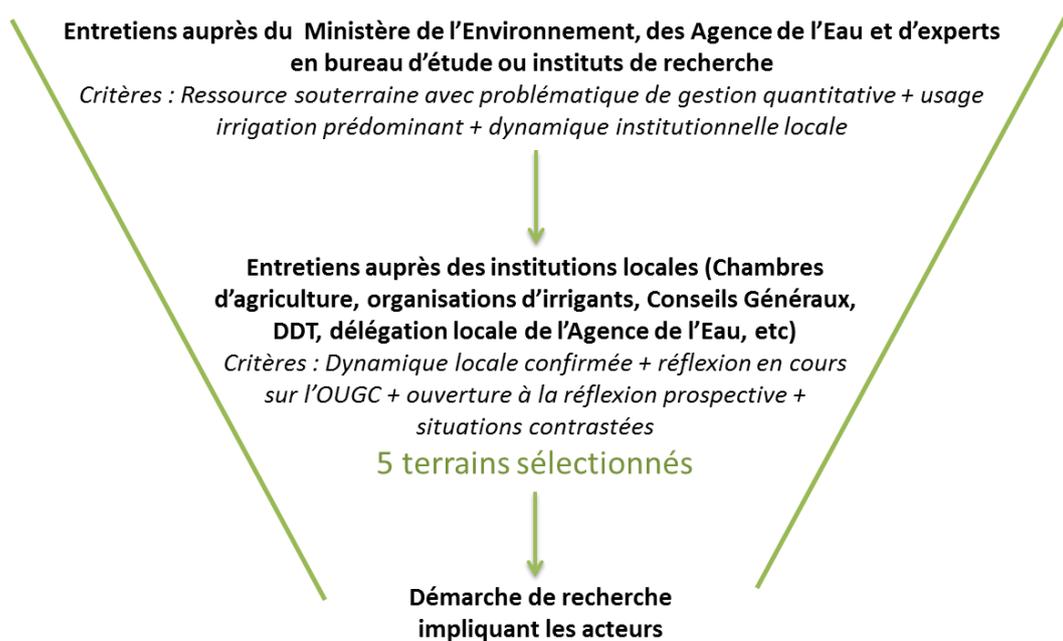


Figure 2 - 2 : Processus et critères de sélection des terrains

Sur chacun des terrains d'étude retenus, nous avons rencontré une dizaine d'irrigants et des représentants institutionnels au cours d'une première mission exploratoire. L'objectif est de comprendre la gestion actuelle de l'eau sur le bassin, ses principaux enjeux et d'identifier les parties prenantes, les différents groupes d'opinion et leurs relations. Ces premières rencontres permettent aussi de créer le contact et d'obtenir des acteurs locaux leur accord de principe pour participer à nos travaux, et nous aider à identifier et mobiliser des participants (à la façon de la technique d'échantillonnage par « boule de neige » décrit par Reed, Graves, *et al.* (2009)).

La présentation et la comparaison des sites d'étude que nous proposons dans la partie suivante est issue de ce travail de terrain.

4.2. Une diversité de situations locales

Les cinq terrains d'étude sont situés dans quatre bassins hydrogéologiques différents et représentent une diversité hydrogéologique, agricole et institutionnelle (Figure 2 - 3). Cette sous-partie vise à donner un aperçu des terrains étudiés, de la façon dont les prélèvements agricoles sont actuellement gérés et des enjeux spécifiques qui les caractérisent. Ces informations sont résumées dans le Tableau 2 - 2. Une description détaillée de chaque terrain sous forme de fiche d'identité est proposée dans l'Annexe I, ainsi que dans un rapport d'étude (Figureau, Montginoul, *et al.*, 2012).

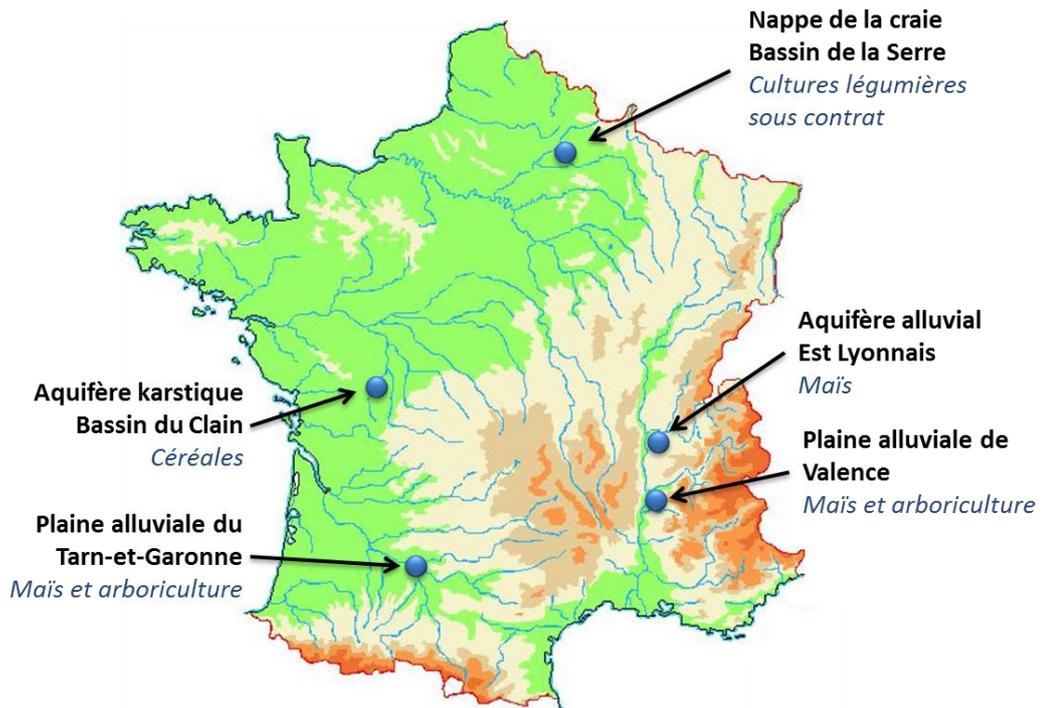


Figure 2 - 3 : Terrains d'étude de la thèse, type de ressource souterraine et principales productions agricoles

4.2.1. Bassin de la Serre

Le bassin de la Serre, dans le département de l'Aisne, est caractérisé par une agriculture produisant des cultures légumières à haute valeur ajoutée, orientée vers la transformation industrielle (conserves de légumes, conditionnement de pommes de terre, etc.). Un des enjeux spécifiques à ce terrain est donc le maintien de la qualité des productions, étroitement liée à l'irrigation, pour satisfaire les exigences des filières agro-alimentaires. La ressource souterraine présente dans ce bassin est la nappe de la craie, dans laquelle une centaine d'irrigants du bassin de la Serre prélèvent chaque année environ 5,6 Mm³ d'eau. Depuis 2004, la gestion des prélèvements agricoles s'appuie sur l'allocation de volumes calculés en fonction des cultures et du type de sol, mais qui n'entrent en vigueur qu'en cas de crise. La ressource restant relativement abondante par rapport aux besoins, ces mesures n'ont jamais été appliquées à ce jour. Cependant, l'abandon récent de 8000 hectares de betterave sucrière - culture non irriguée - depuis la réforme européenne du secteur en 2006, oblige les représentants agricoles à réfléchir la conversion de ces terres en fonction de la ressource réellement disponible.

4.2.2.Plaine alluviale de Valence

Les irrigants de la plaine alluviale de Valence, dans le département de la Drôme, se caractérisent par un usage conjoint de ressources souterraines et superficielles. L'agriculture est tournée vers la production de céréales, en particulier le maïs et l'arboriculture. Les préleveurs en nappe reçoivent une allocation annuelle en eau, davantage en fonction de leurs besoins que de la disponibilité de la ressource, qui reste mal connue. Ce terrain se caractérise donc par le fait qu'il n'a pas d'historique ni de gestion, ni de restriction sur les prélèvements en nappe (contrairement aux réseaux d'eau superficielle). Cependant, le récent classement de la nappe comme déficitaire vient bousculer ce schéma et forcer les services de l'Etat à lancer une réflexion sur les moyens à mettre en œuvre pour réduire les prélèvements en nappe. Le principal enjeu réside dans l'implication des irrigants dans ce processus de décision, peu d'entre eux partageant le constat d'une pénurie sur la ressource.

4.2.3.Nappe de l'Est Lyonnais

La nappe de l'Est Lyonnais constitue la seule ressource en eau des irrigants sur ce territoire dépourvu d'eau de surface. L'originalité de ce terrain réside dans le fait que les prélèvements agricoles en nappe sont gérés de façon collective par le Syndicat Mixte d'Hydraulique Agricole du Rhône (SMHAR), ce qui est extrêmement rare, voire unique en France. Le SMHAR dessert en eau 7500 hectares, principalement de céréales et maïs. Le récent classement de la nappe en masse d'eau déficitaire est difficilement accepté par les irrigants, qui ne croient pas en l'abaissement du niveau de la nappe. Des solutions alternatives aux prélèvements en nappe sont aujourd'hui en discussion, le SMHAR proposant de soulager la pression exercée sur la nappe par le détournement d'une partie des eaux du Rhône. La situation est d'autant plus critique que les agriculteurs de l'Est Lyonnais se sentent d'ors-et-déjà menacés par l'urbanisation des terres agricoles.

4.2.4.Plaine alluviale du Tarn et de la Garonne

La plaine alluviale du Tarn-et-Garonne s'étend sur 940 km², dont 14 000 hectares occupés par l'agriculture irriguée, principalement l'arboriculture (surtout pommes, prunes et kiwis) et la maïsiculture. On retrouve sur ce terrain un enjeu qualitatif : la qualité des fruits, pour laquelle l'irrigation joue un rôle déterminant, doit répondre aux exigences des cahiers des charges des

coopératives et des distributeurs. Sur la nappe alluviale du Tarn et de la Garonne, la gestion actuelle des prélèvements agricoles s'appuie sur l'établissement d'un volume annuel total calculé en fonction des niveaux mesurés et des précipitations hivernales, et des allocations individuelles en débit et volume. Cependant, ces volumes étant insuffisants pour les besoins des fruitiers et le contrôle des compteurs étant quasi-inexistant, les prélèvements dépassent systématiquement les autorisations. L'enjeu sur ce terrain est de mettre en place un système d'allocations justes et économiquement viables pour le secteur agricole couplé à un contrôle plus efficace. Les irrigants plaident pour la création de ressources par retenues collinaires pour soulager la pression exercée sur les nappes par les prélèvements estivaux.

Tableau 2 - 2 : Caractéristiques hydrogéologiques, agricoles et institutionnelles des cinq terrains d'étude

	BASSIN DU CLAIN (86)	TARN-ET-GARONNE (82)	PLAINE DE VALENCE (26)	EST LYONNAIS (69-38)	BASSIN DE LA SERRE (02)
Hydrogéologie	Aquifère karstique - Très réactif - Eaux sout et Eaux sup connectées	Plaine alluviale en terrasse - Déversement vers la Garonne, l'Aveyron et le Tarn	Aquifère alluvial - quelques connexions avec rivières - Sources	Couloirs fluvio-glaciaires - pas de connexion avec Eaux sup	Nappe de craie réalimentant la Souche (affluent Serre) et zones humides
Echelle d'étude	3200 km ²	940 km ²	480 km ²	400 km ²	1630 km ²
Autres ressources	Ressources superficielles limitées. Construction de retenues de substitution en cours.	Réseaux d'irrigation de surface denses	Réseaux d'irrigation de surface	Ressources superficielles limitées. Projet de transfert d'eau depuis le Rhône en substitution des eaux souterraines.	Prélèvements en rivière
Surfaces irriguées et productions	28 000 ha irrigués (11% SAU). Grandes cultures (céréales, maïs)	50 000 ha irrigués (25% de la SAU). Fruits (pommes, kiwi, prunes), céréales, maïs, semences	9800 ha irrigués (40% de la SAU). Maïs et céréales (fruits, légumes + marginalement)	7 000 ha irrigués (35% de la SAU). Céréales, maïs, oléoprotagineux	4000 ha irrigués (2,5% de la SAU). Maïs, betterave, cultures légumières sous contrat (industrie agroalimentaire)
Prélèvements agricoles en eau souterraine	V _{ESO} = 25 Mm ³ = (89% du volume total)	V _{ESO} = 29 Mm ³ (82% du volume total)	V _{ESO} = 5 Mm ³ (15% du volume total)	V _{ESO} = 9 Mm ³ (43 % du volume total)	5,6 Mm ³
Historique de la gestion quantitative	ancien (depuis 1994)	récent	récent	ancien (dans le cadre de l'ASA)	récent (2004)
Niveau de tension sur l'eau souterraine	Fort - Assec des cours d'eau et restrictions temporaires chaque année. Objectif de réduction des prélèvements >30%. Forte prise de conscience des enjeux	Faible - Pas de restrictions sur eaux souterraines, pas d'impact environnemental visible, peu de conflits avec autres usagers (eau potable)	Moyen - Restrictions fréquentes mais pas d'impact environnemental visible, peu de conflits avec autres usagers	Moyen - Baisse constante du niveau de la nappe depuis 20 ans mais sans impact environnemental visible ni conflit avec autres acteurs- Objectif de réduction du volume prélevable de 20%	Faible - peu de conflits. Volume prélevable fixé à un niveau supérieur au niveau max de prélèvement.
Niveau de connaissance des eaux souterraines	Elevé - Développement d'outils de connaissance et de suivi de la nappe par la profession agricole (Chambre, ADIV) depuis plusieurs années. Vision partagée du fonctionnement de la nappe.	Elevé - Développement d'un modèle hydrogéologique par l'Etat (DDT), implication limitée de la profession agricole. Divergence d'opinions sur le fonctionnement des eaux souterraines.	Moyen - Caractérisation de la nappe pour l'étude volume prélevable, mise en place d'un réseau piézométrique départemental, implication limitée de la profession agricole.	Elevé - Modélisation de la nappe pour l'étude volume prélevable, réseau piézométrique dense, implication forte de la profession agricole dans le 38, limitée dans le 69	Elevé - Développement d'un modèle hydrogéologique par la Chambre (niveau de connaissance supérieur à celui de l'Etat)
Autorisations de prélèvements	Autorisations spécifient un volume annuel par exploitation + volume maximum hebdomadaire (applicable en cas de tension, avant restrictions)	Autorisation spécifiée en débit + volume prélevable maximum associé (variable selon casiers).	Autorisations spécifiées en débit (+ volume associé indicatif et non contraignant)	Volume maximum par agriculteur défini par l'ASA (qui est détentrice d'une autorisation de prélèvement globale)	Volume maximum à respecter en cas de franchissement d'un seuil de vigilance uniquement
Contrôle des prélèvements	Important - Contrôle effectif des volumes prélevés chaque année + hebdomadaire en période de tension.	Faible - Pas de contrôle de la correspondance entre volume autorisés et volumes prélevés. Transmission des relevés à l'agence de l'eau.	Faible - Pas de contrôle des volumes prélevés (relevés transmis à l'agence de l'eau pour calcul de la redevance)	Elevé dans le réseau collectif et les prélèvements individuels du 38; Faible pour les prélèvements individuels du 69	Faible - relevé de compteur en début et fin de saison, transmis à CA et agence de l'eau
Risque de restrictions en cas de crise	Fort - interdictions d'arrosage en cas de franchissement de seuils piézométriques (rotation par secteurs) avec dérogation pour cultures spéciales	Faible - Pas d'interdiction sauf dans la bande de 100 m autour des cours d'eau.	Moyen - Restrictions sous forme de tours d'eau par secteurs	Elevé (38) - Restrictions horaires - Moyen (69) - Sur le réseau collectif, restrictions de volume qui se traduisent par des arrangements en tours d'eau par groupe de 4. Sur les prélèvements individuels, restrictions en volume (mais non contrôlées)	Faible - restrictions prévues réglementairement mais n'ayant pas eu à être mises en œuvre

4.2.5. Bassin du Clain

Le bassin du Clain, dans le département de la Vienne, se distingue des autres par la sophistication de son système de gestion des prélèvements en nappe. Sur ce bassin, 90% des prélèvements pour l'irrigation sont effectués en nappe, pour un volume total annuel de 28 Mm³ utilisé par plus de 400 irrigants pour irriguer 28 000 hectares, principalement en céréales. Les très bonnes connaissances de l'hydrogéologie du bassin ont permis la mise en place d'une gestion volumétrique dès 2000, basée sur l'attribution de volumes individuels annuels, et l'imposition de limites individuelles hebdomadaires en cas de crise. Les niveaux de nappe sont suivis en temps réel et consultables par tous les irrigants, générant une forte implication de leur part dans les processus de décision. Cependant, des mesures de gestion de crise continuent d'être prises chaque été à cause des assecs que subissent les cours d'eau. Ce bassin est particulièrement visé par la Loi sur l'Eau de 2006 et un OUGC est en cours d'établissement. De leur côté, les irrigants, fédérés dans une association départementale, ont lancé des projets de retenues de substitutions pour répondre aux réductions de prélèvements demandées par la loi.

CONCLUSION PARTIELLE

L'élaboration d'instruments économiques de régulation des prélèvements qui reposent sur des hypothèses théoriques appelle à l'évaluation de leur efficacité potentielle dans les conditions réelles où ces hypothèses sont susceptibles de ne pas être entièrement vérifiées.

Dans ce chapitre, nous proposons une méthodologie d'évaluation ex-ante, basée sur l'utilisation de deux approches méthodologiques aux fondements théoriques différents mais complémentaires : une approche de prospective participative reposant sur la co-construction de connaissances par hybridation des savoirs experts et des savoirs locaux, et une approche expérimentale permettant de simuler les instruments et de mesurer leurs effets sur les comportements de prélèvement.

La démarche est répliquée sur cinq terrains d'étude en France, qui représentent une diversité de contextes (hydrogéologiques, agricoles, climatiques, économiques, sociaux, etc.), afin de comparer les évaluations et identifier des facteurs contextuels favorisant ou limitant la réussite des instruments.

Ce travail débute par l'approche de participative par les ateliers, dont le protocole et les résultats sont présentés dans le chapitre suivant.

CHAPITRE 3

Evaluation des instruments par une méthode participative

Ce chapitre rapporte les résultats de l'évaluation issue de la méthode par les ateliers. Nous présentons dans une première partie les choix méthodologiques et opérationnels relatifs à la démarche participative. De juin 2012 à février 2013, nous avons conduit 16 ateliers participatifs sur nos 5 terrains d'étude auxquels ont participé 80 agriculteurs et 44 acteurs institutionnels. La seconde partie de ce chapitre s'attache à rendre compte, pour chacun des instruments, des principaux éléments de débat générés par les ateliers et articulés autour de quatre dimensions d'analyse : efficacité, acceptabilité, faisabilité et risques. Une troisième partie propose une comparaison des résultats entre les sites d'étude pour mettre en évidence l'importance des facteurs contextuels dans l'efficacité potentielle d'un instrument. La quatrième et dernière partie tire les enseignements de cette évaluation pour affiner le concept de rationalité économique à la base de l'élaboration des instruments.

1. Méthodologie des ateliers

1.1. Une approche par des scénarios prospectifs

1.1.1. Des scénarios narratifs et prospectifs

Les deux instruments de gestion présentés dans le Chapitre 1 sont insérés dans deux scénarios narratifs décrivant la nature des changements institutionnels accompagnant leur mise en place à un horizon temporel éloigné (entre 2025 et 2030).

Le fait de travailler sur des évolutions à un horizon temporel éloigné est motivé par la nécessité d'éviter un biais stratégique ou l'influence sur les participants de facteurs émotionnels liés à des conflits en cours, en distanciant les participants des enjeux immédiats. Les acteurs sollicités sont ainsi capables de se placer dans une réflexion exploratoire. La deuxième raison réside dans le fait que des changements règlementaires et institutionnels sont nécessaires à la mise en œuvre des instruments. En effet, il est nécessaire de crédibiliser les scénarios en considérant que les changements considérés (économiques, climatiques, règlementaires, etc.) seront réalisés progressivement (pour éviter le rejet de la part des participants pour cause de non crédibilité) et ancrer les scénarios dans une évolution chronologique narrative (Figure 3 - 2).

Afin de faciliter la lecture et la compréhension des scénarios par les participants, les scénarios narratifs sont présentés sous la forme d'articles de presse fictifs datés de 2020 à 2030 (voir Figure 3 - 1 et l'exemple détaillé en Annexe II). Cette dimension fictive permet aussi d'aborder des sujets controversés (relations entre défenseurs de l'environnement et agriculteurs, polémique sur les retenues de substitution, etc.).



Figure 3 - 1 : Exemple d'articles de presse fictifs envoyés aux participants (voir Annexe II)

1.1.2. Situation initiale : le scénario tendanciel

Pour accompagner les participants dans la démarche d'exploration du futur, le déroulement des scénarios narratifs débute la présentation d'un scénario tendanciel, caractérisé par des évolutions techniques, légales et institutionnelles qui restent valables dans les scénarios suivants. Ce scénario décrit les évolutions tendanciennes de la situation actuelle dans la continuité de la réforme de la politique de l'eau entreprise en 2006. En particulier, le scénario de référence est caractérisé par l'établissement d'un volume prélevable pour l'irrigation, la répartition de ce volume en allocations individuelles annuelles et la création d'un Organisme Unique de Gestion Collective (OUGC) responsable de cette gestion volumétrique. Etant données les tendances observées sur le terrain et confirmées par les acteurs lors d'entretiens préparatoires, nous faisons trois hypothèses d'évolution à l'horizon 2020. La première suppose que chaque irrigant recevra une allocation en eau individuelle, calculée à partir de son historique de prélèvement et modulée par des critères agronomiques (cultures, type de sol, etc.). La deuxième hypothèse admet l'amélioration des techniques

d'acquisition de l'information, tant sur les nappes que sur les prélèvements. La connaissance des prélèvements ne constituera plus un défi majeur grâce au développement de technologies telles que la télé-relève automatique des compteurs (Beal et Flynn, 2015) (hypothèse d'information parfaite sur les prélèvements). De plus, les connaissances et le suivi de la nappe peuvent être partagés et rendus accessibles en temps réel à un grand nombre d'acteurs au travers de technologies d'information et de communication (hypothèse de transparence). La troisième hypothèse concerne le rôle de l'OUGC : nous supposons que son statut légal est renforcé lui permettant de mettre en place ses propres règles d'allocation et d'exercer des mesures de contrôle et sanction pour les faire respecter. L'OUGC devient alors responsable devant l'Etat du respect du volume prélevable sur le bassin.

Dans ce contexte, les deux instruments de régulation décrits dans le Chapitre 1 sont présentés aux participants des ateliers comme des options plausibles de règles de gestion pouvant être appliquées par les OUGC dans le cadre de la réforme de la gestion de l'eau d'irrigation.

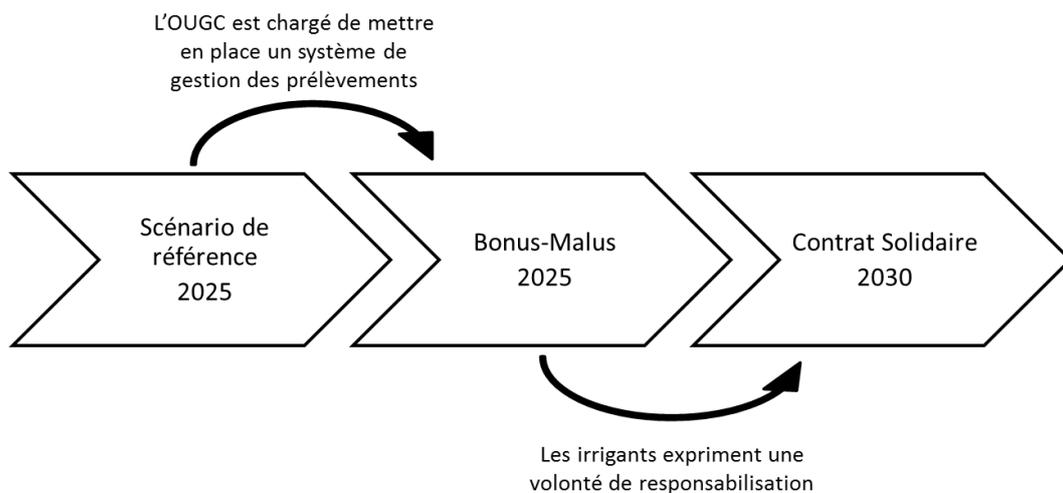


Figure 3 - 2 : Succession des scénarios telle que présentée dans les ateliers

1.1.3.Des scénarios adaptés aux terrains d'étude

Si la trame de base est identique, l'histoire sous-jacente est adaptée aux terrains étudiés pour prendre en compte leurs spécificités. Cela permet (1) une meilleure appropriation du scénario par les participants, augmentant ainsi la pertinence des réactions qu'il suscite et (2) d'imaginer les adaptations nécessaires de l'outil au contexte local.

Les scénarios sont adaptés à chaque terrain en tenant compte de leurs spécificités locales : hydrogéologie (nappe karstique ou alluviale, réactive ou inertielle, etc.), agronomie (type de culture, types de sol, rotations,

etc.), économie locale et agricole (productions agricoles, filières avales, etc.), institutions et gestion actuelle de l'eau (organisations en place, relations entre institutions, mesures déjà en place pour réduire les prélèvements, etc.). L'objectif est de maximiser l'adhésion des participants à la démarche en rendant les scénarios crédibles.

Par exemple, dans le cas du bassin du Clain, nous avons pris en compte la gestion volumétrique déjà en place. Celle-ci s'appuie sur la fixation de volumes hebdomadaires en période de sécheresse. Sur ce terrain, le scénario présentant l'instrument de bonus-malus envisage donc l'application des malus et des bonus à la fin de chaque semaine, au lieu d'une application en fin de saison d'irrigation. De même, l'aquifère de l'Est Lyonnais présente une forte inertie, ce qui a conduit les services de l'Etat à proposer une gestion pluriannuelle des prélèvements dans le cadre du futur organisme unique. Cette proposition a été reprise dans nos scénarios : le suivi des prélèvements est lissé sur 5 ans et ce n'est pas le prélèvement annuel mais la moyenne des prélèvements sur 5 ans qui doit respecter l'allocation individuelle (les variations interannuelles sont donc possibles).

1.2. Recrutement des participants et constitution des groupes

Plusieurs groupes d'agriculteurs et de représentants institutionnels sont impliqués sur chaque terrain. Bien que les méthodes d'ateliers mélangent habituellement les publics (décideurs publics, acteurs économiques, experts et citoyens), nous avons choisi de constituer des groupes séparés : agriculteurs irrigants d'une part, et experts et représentants institutionnels et économiques d'autre part. Ce choix est d'abord motivé par la volonté de faire naître des discussions distinctes, d'une part sous l'angle du fonctionnement des exploitations (groupes d'agriculteurs) et d'autre part à travers une vision plus globale à l'échelle du territoire où coexistent différents activités et enjeux (groupes d'acteurs économiques et d'institutionnels). C'est aussi un moyen de dépasser les tensions qui caractérisent les relations entre agriculteurs et décideurs publics dans certains terrains, particulièrement dans le contexte règlementaire actuel de réduction des autorisations. Cette configuration doit permettre une parole libre et éviter que les positions institutionnelles ne conduisent les agriculteurs à se mettre en retrait dans le débat, considérant qu'ils ne sont pas légitimes pour exprimer des avis différents de ceux qui les représentent.

L'atelier réunit 10 participants en moyenne (6 au minimum, 10 au maximum), ce qui représente des groupes plus restreints que ce que l'on trouve dans la littérature (souvent entre 25 et 40 personnes (Hatzilacou, Kallis, *et al.*, 2007). L'idée est ici de réunir assez de personnes pour faire naître un débat, mais pas trop pour que tous les participants puissent s'exprimer sur chaque scénario.

Pour le recrutement des participants, la phase préparatoire et la première visite sur le terrain sont déterminantes. Une première rencontre avec les services de l'Etat locaux, les organisations agricoles et quelques irrigants permet d'obtenir leur accord pour participer aux ateliers, ainsi que leur aide dans l'identification et le recrutement des acteurs susceptibles d'être intéressés par notre démarche. Plus particulièrement, elle nous a permis d'identifier des représentants agricoles porteurs de visions différentes, parfois antagonistes, l'idée étant de former des groupes autour de ces leaders afin de recueillir des visions contrastées. Par exemple, dans le bassin du Clain, deux agricultures et visions de la gestion de l'eau s'opposent dans le département, et sont représentées par deux associations : l'Association Départementale des Irrigants de la Vienne (ADIV) et Les Sources du Bé. L'ADIV rassemble la grande majorité des irrigants, principalement des exploitations céréalières intensives et défend la construction de ressources de substitution. L'association des sources du Bé rassemble des irrigants d'exploitations de taille modeste en polyculture-élevage, qui croient davantage à une agriculture irriguée qui s'adapte à la disponibilité de la ressource sur le territoire. Le même raisonnement a été appliqué dans les autres terrains.

1.3. Déroulement des ateliers

Le déroulement des ateliers suit un enchaînement construit à l'avance et répété à l'identique sur chaque terrain. Après la présentation du contexte et des objectifs de notre recherche, les caractéristiques de la nappe, le cadre institutionnel et les règles de la gestion actuelle des prélèvements agricoles en nappe sont rappelés et discutés si nécessaires, l'objectif étant que les participants et l'équipe de recherche partagent une vision commune de la situation initiale avant de commencer la réflexion prospective. Ensuite, une situation à l'horizon 2020 est présentée dans un scénario tendanciel reprenant les trois hypothèses d'évolution tendancielle décrites plus haut (paragraphe 1.1.2) : répartition du volume prélevable total en allocations individuelles, suivi et connaissances des prélèvements individuels en temps réel et renforcement des pouvoirs de l'OUGC. Les scénarios de régulation sont ensuite successivement présentés et discutés. Pour

chacun d’eux, l’évaluation débute par une présentation orale par l’équipe de recherche, illustrée par un poster. Les participants sont ensuite invités à remplir un questionnaire individuel d’évaluation du scénario visant à recueillir leurs avis sur l’efficacité potentielle de l’instrument et, dans le cas des agriculteurs, le comportement que celui-ci adopterait si l’instrument était appliqué (voir Annexe III). Puis chacun s’exprime à tour de rôle sur l’instrument, l’animateur veillant à ce que chacun prenne la parole, avant de laisser place à une discussion ouverte permettant aux participants d’échanger leurs points de vue. Cet enchaînement est répété pour chaque scénario. L’intégralité des discussions est enregistrée.

Les scénarios sont introduits selon un ordre que nous présentons aux participants comme chronologique, reflétant une évolution réglementaire, institutionnelle et climatique (Figure 3 - 2).

La méthode décrite ci-dessus a été répliquée 16 fois sur les 5 terrains d’étude, à raison de trois à quatre ateliers par terrain. Au total, 124 acteurs de l’eau ont été réunis, dont 80 agriculteurs irrigants et 44 acteurs institutionnels (Figure 3 - 3). Les Tableau 3 - 1 et 3 - 2 résument les principales caractéristiques des participants par terrain et par atelier.



Figure 3 - 3: Photographies des ateliers.
Dans le bassin du Clain (a, g), dans l’Est Lyonnais (b), la plaine de Valence (c, d), le bassin de la Serre (e) et le Tarn-et-Garonne (f).

1.4. Méthode d'analyse

L'analyse s'appuie à la fois sur un traitement quantitatif des questionnaires individuels et un traitement qualitatif des discussions.

L'enregistrement des ateliers permet de retranscrire l'ensemble des opinions et arguments exposés par les participants, qui sont ensuite structurés sous forme d'une base de données. Dans cette base de données, chaque entrée correspond à un extrait intégralement retranscrit de la position exprimée par un acteur donné, auquel est attaché le nom de la personne s'exprimant, les informations relatives au lieu et à la date, ainsi qu'une courte reformulation de l'idée principale exprimée (rédigée par l'équipe de recherche). Lorsqu'un participant répète le même argument à plusieurs reprises dans un atelier, il n'est comptabilisé qu'une seule fois, mais si différents participants expriment la même idée, l'argument est compté plusieurs fois.

La deuxième étape de l'analyse consiste à regrouper les opinions individuelles qui expriment la même idée, sous un *argument* général qui les résume. Ce travail est réalisé par deux membres de l'équipe de recherche de façon indépendante avec de croiser les analyses et de contrôler la subjectivité inhérente à ce type d'analyse.

Chaque *argument* est ensuite qualifié en utilisant trois indicateurs. Le premier indique s'il se place en faveur ou en opposition à l'instrument présenté dans le scénario (certaines sont neutres). Le deuxième indicateur précise si l'*argument* est d'ordre économique, social, éthique, institutionnel ou technique. Le troisième indique le critère d'évaluation auquel l'*argument* se réfère : (i) efficacité (capacité à atteindre le double objectif de respect du volume prélevable et de souplesse des allocations), (ii) acceptabilité, (iii) faisabilité et (iv) risques potentiels.

Enfin, la base de données permet de produire un indicateur de fréquence des *arguments*, que nous avons défini comme le nombre d'ateliers (sur les 16 ateliers au total) dans lesquels l'*argument* a été mentionné.

Tableau 3 - 1 : Liste des ateliers et caractéristiques des participants irrigants

Terrain	Date	Effectif	Age moyen	OTEX	SAU moyenne par exploitation	Surface irriguée moyenne par exploitation	Part moyenne de la surface irriguée dans la SAU	Volume ou débit moyen attribué par exploitation ^a	Volume moyen attribué par hectare irrigué
Bassin du Clain (86)	12/06/2012	15	46	Céréaliculture	204	85	44%	137000 m ³	2040 m ³
	13/06/2012	5	48	Polyculture-élevage	111	25	24%	57250 m ³	2060 m ³
Tarn-et-Garonne (82)	25/01/2013	9	51	Céréaliculture + Arboriculture	110	93	86%	<i>Données non renseignées ou insuffisantes</i>	
	29/01/2013	5	53	Céréaliculture + Arboriculture	150	120	73%		
	30/01/2013	5	50	Céréaliculture + Arboriculture	95	69	68%		
Plaine de Valence (26)	12/02/2013	10	51	Céréales + oléoprotéagineux + élevage divers	87	52	62%	124 m ³ /h	-
	13/02/2013	7	43	Céréales + oléoprotéagineux + élevage divers	108	67	65%	243 m ³ /h	-
Est Lyonnais (69-38)	18/02/2013	6	49	Céréales + oléoprotéagineux	161	103	60%	183 m ³ /h	-
	20/02/2013	6	49	Céréales + oléoprotéagineux	182	81	48%	210 m ³ /h	-
Bassin de la Serre (02)	20/03/2013	8	52	Céréales + oléoprotéagineux + légumes d'industrie	350	113	32%	206400 m ³	1590
	21/03/2013	6	46	Céréales + oléoprotéagineux + légumes d'industrie	363	88	36%	160000 m ³	1850

^a Les indications en débit correspondent à la somme de toutes les autorisations en débit de prélèvement en nappe et en eau de surface (réseaux)

Tableau 3 - 2 : Liste des participants institutionnels et institutions représentées

Terrain	Date	Effectif	Institutions représentées			
			Services de l'Etat	Organisations Agricoles	Agences et associations de protection de l'environnement	Autres (ASA, experts, etc.)
Bassin du Clain (86)	13/06/2012	10	DDT 86 ; DREAL Poitou-Charentes ;	Chambre Départementale d'Agriculture Association ; Départementale des Irrigants de la Vienne ;	Agence de l'Eau Loire-Bretagne; ONEMA; FDPMA86	BRGM Poitou-Charentes
Tarn-et-Garonne (82)	21/01/2013	11	DDT 82 ; CG 82;	Chambre Départementale d'Agriculture 82; Coopérative Qualisol; Coopérative Stanor ; Coopérative Arterris, Coopérative AgriBio Union; Syndicat de Production de Semence de Maïs; Représentant des melonniers	Agence de l'Eau Adour-Garonne;	BRGM Midi-Pyrénées
Plaine de Valence (26)	12/02/2013	8	DREAL Rhône-Alpes; DDT26; CG26;	Chambre Départementale d'Agriculture 26	Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée;	Syndicat de Gestion de la Ressource en Eau en Drôme (SYGRED);
Est Lyonnais (69-38)	19/02/2013	6	DREAL Rhône-Alpes; CG69; Région Rhône-Alpes	Chambre Départementale d'Agriculture 69;	Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) de l'Est Lyonnais;	Syndicat Mixte d'Hydraulique Agricole du Rhône (SMHAR);
Bassin de la Serre (02)	22/03/2013	8	DDT02; DREAL Picardie	Chambre Départementale d'Agriculture de l'Aisne; Section des Irrigants de l'Aisne;	Association des Marais de la Souche; Agence de l'Eau Seine-Normandie; Conservatoire des Espaces Naturels;	BRGM Picardie

2. Résultats par instrument

Cette partie rapporte les principaux éléments de discussion issus des ateliers pour les deux scénarios proposés aux participants : le bonus-malus et le contrat solidaire.

2.1. Vue d'ensemble des résultats

Les deux scénarios proposés ont suscité des réactions contrastées. Le scénario du bonus-malus a été fortement critiqué : 68% des affirmations qui en ressortent sont défavorables à l'instrument (Figure 3 - 4) ; inversement, le scénario du contrat solidaire a été jugé comme une option plus désirable, avec moins d'arguments négatifs (37%).

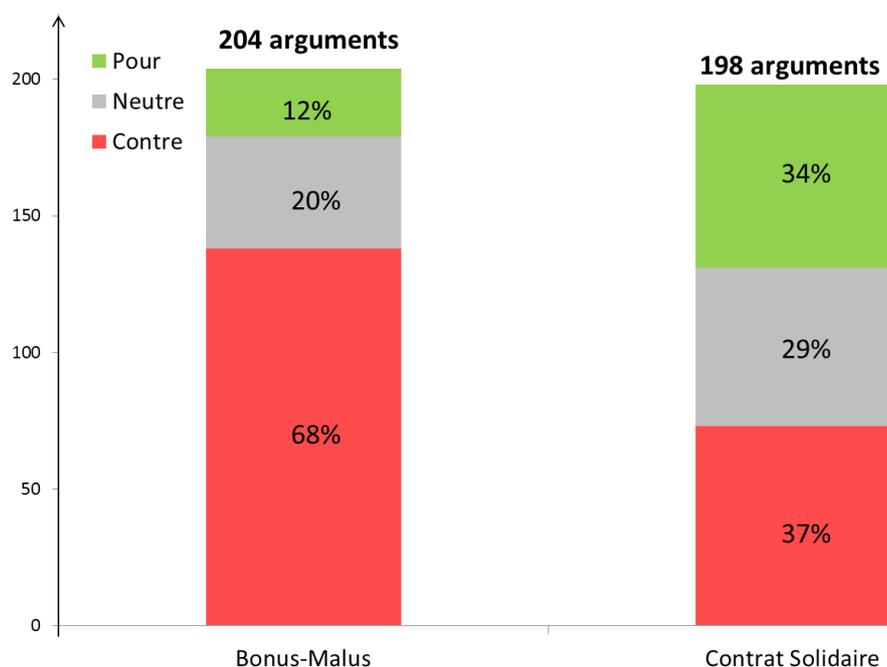


Figure 3 - 4 : Distribution des affirmations dans les trois catégories (pour, neutre et contre) pour chaque scénario.

Ces premiers résultats peuvent être approfondis par l'analyse des critères d'évaluation sur lesquels portent chaque affirmation : efficacité, acceptabilité et faisabilité. Pour chacun de ces critères, nous calculons un indicateur d'affirmations favorables I_{pour} (nombre d'affirmations favorables divisé par le nombre total d'affirmations, en %) et un indicateur d'affirmations défavorables I_{contre} (nombre d'affirmations défavorables divisé par le nombre total d'affirmations, en %). Ces indicateurs permettent de construire les graphiques présentés sur la Figure 3 - 5. On observe que les affirmations en faveur du contrat solidaire se réfèrent à des critères d'efficacité, d'acceptabilité et de faisabilité de

façon à peu près équivalente (respectivement 47, 74 et 58%). Les arguments contre le bonus-malus se réfèrent aux trois critères d'efficacité, d'acceptabilité et de faisabilité, alors que les quelques arguments favorables concernent seulement son efficacité.

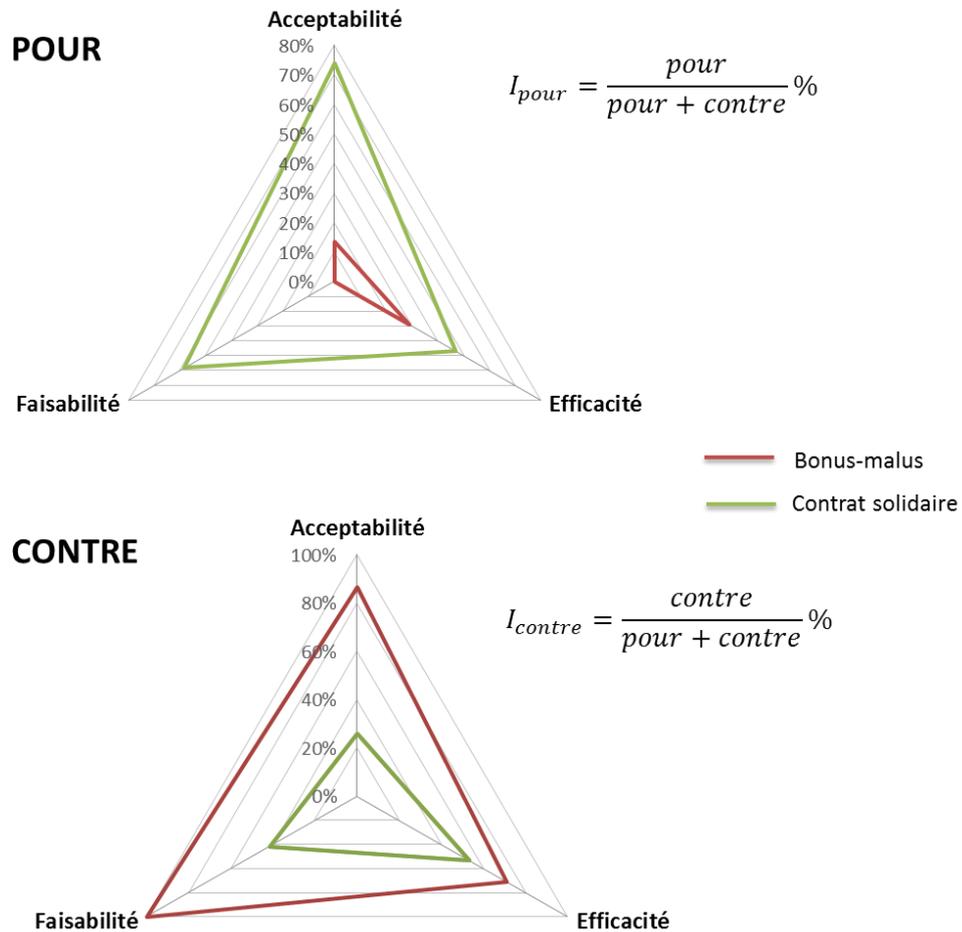


Figure 3 - 5 : Affirmations favorables et défavorables aux scénarios en fonction du critère d'évaluation : efficacité, acceptabilité et faisabilité

Les participants analysent ainsi chaque scénario au travers de différents points de vue (Figure 3 - 6) parmi lesquels nous identifions les catégories suivantes : point de vue économique (35% des affirmations), technique (24%), social (21%), éthique (12%) et institutionnel (8%). La nature des débats suscités par chaque scénario diffère sensiblement en termes de contenus (Figure 3 - 6). La discussion suscitée par le bonus-malus revêt un aspect économique dominant (51% des affirmations) et explore dans une moindre mesure les dimensions techniques et éthiques. Le débat suscité par le contrat solidaire porte principalement sur les questions d'ordre social.

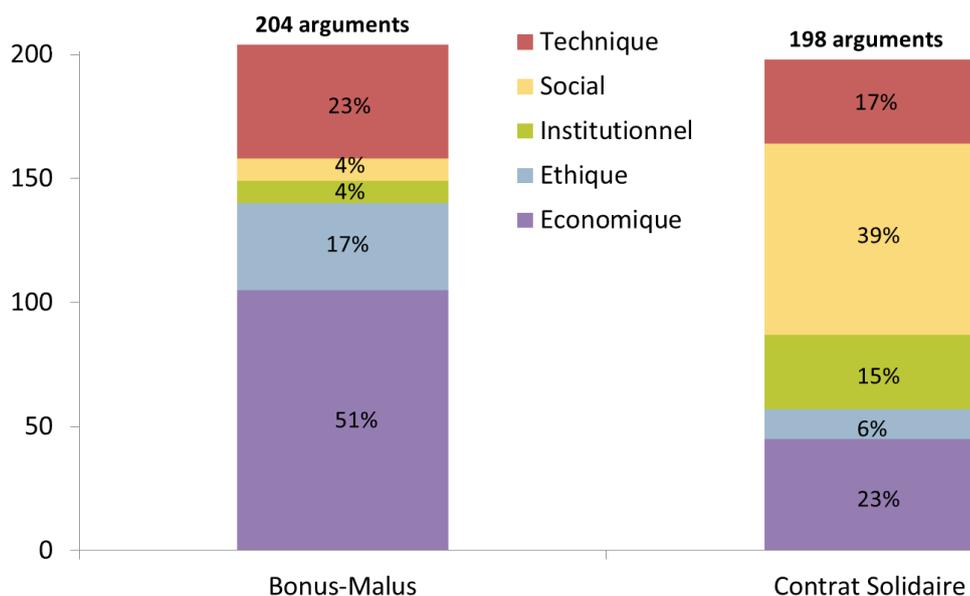


Figure 3 - 6 : Distribution des affirmations selon les dimensions abordées, par scénario.

Dans les sous-parties qui suivent, nous proposons une analyse détaillée de la nature des affirmations décrites quantitativement dans les Figures 3-4, 3-5 et 3-6). Elle est présentée par scénario et illustrée par des tableaux détaillant les principales affirmations issues des discussions et le nombre d’ateliers dans lesquels elles ont été mentionnées.

2.2. Bonus-Malus

2.2.1. Perception globale

Une large majorité des participants (75%) considèrent que le bonus-malus ne permettra pas d’assurer le respect du volume prélevable (Figure 3 - 7). Cette proportion est relativement similaire entre les publics (78% chez les agriculteurs et 70% chez les acteurs institutionnels). Seulement 28% des irrigants déclarent qu’ils réduiront leur prélèvement pour obtenir un bonus, tandis que 54% préféreront payer un malus pour dépasser (Figure 3 - 7). La plupart des réactions exprimées pendant les ateliers s’opposent à ce scénario (Figure 3 - 4) en remettant en cause à la fois son efficacité, son acceptabilité et sa faisabilité (Figure 3 - 5). L’analyse qui suit détaille les arguments avancés par les participants pour expliquer leurs réponses aux questionnaires.

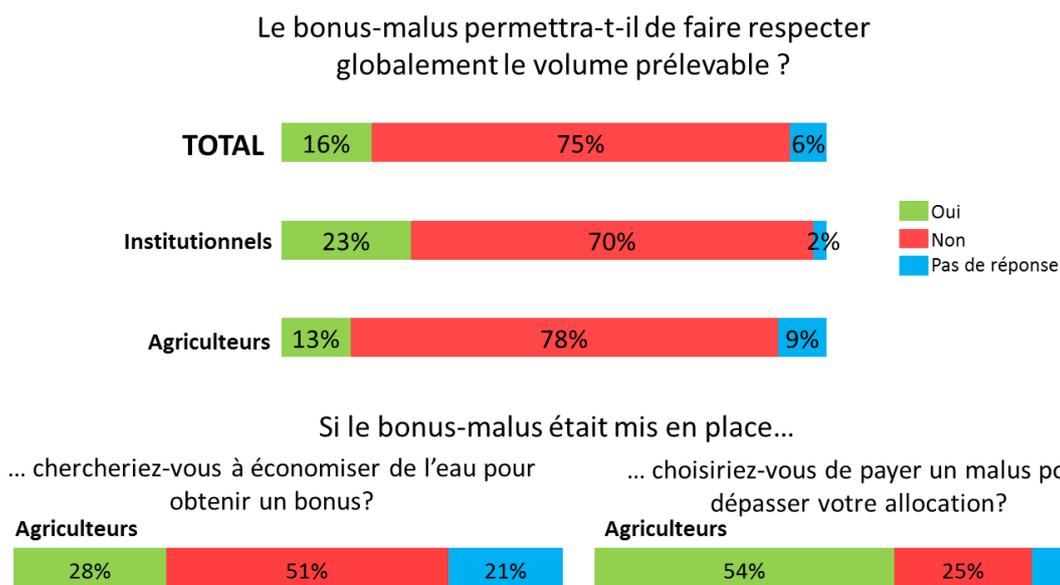


Figure 3 - 7 : Opinions des participants quant à l'efficacité du bonus-malus - Source : questionnaires individuels

2.2.2. Des incitations trop faibles pour induire un réel changement

Pour certains, les incitations économiques sont indispensables pour encourager les agriculteurs à adapter leur irrigation et revoir leurs pratiques. Toutefois, dans la plupart des ateliers (12 parmi les 16), les participants jugent les montants proposés trop faibles pour induire des changements durables en matière d'irrigation, en particulier lors des années sèches ou pour les cultures à haute valeur ajoutée (arboriculture, maïs semences,...). Quant au bonus, son pouvoir incitatif est lui aussi limité du fait qu'il n'est pas connu à l'avance et qu'il est sujet à un grand nombre d'incertitudes (sur le climat, le prélèvement des autres, etc.). De plus, certains participants craignent qu'il ne puisse jamais atteindre des niveaux suffisants pour devenir un facteur déterminant dans le choix de l'assolement (contrairement au prix des céréales, par exemple).

De plus, peu d'irrigants auront la capacité de réduire leur irrigation pour tenter d'obtenir un bonus, car la marge de manœuvre est réduite : les allocations initiales seront déjà limitées, les efforts pour améliorer l'efficacité de l'irrigation et réduire le gaspillage ont déjà été réalisés et pour certains agriculteurs, des investissements récents doivent être rentabilisés par l'optimisation des moyens de production dont l'irrigation.

Ces résultats sont confirmés par les réponses aux questionnaires dans lesquels seulement 28% des agriculteurs déclarent que si le bonus-malus était appliqué, ils tenteraient d'obtenir un bonus. À l'inverse, ils sont 54% à envisager de payer un malus pour dépasser leur allocation. Ces résultats

laissent penser que le bonus-malus ne permettra pas d'atteindre l'objectif de respect du volume prélevable global à l'échelle de la nappe.

2.2.3. Une dimension financière rejetée sur des bases morales et éthiques

Le mécanisme du bonus-malus est perçu comme venant à l'encontre des valeurs morales, sociales et éthiques de la communauté agricole. Dans une très large majorité d'ateliers (15 parmi les 16), les acteurs du terrain considèrent que cette stratégie repose sur la philosophie « de la carotte et du bâton », qui est infantilisante et stigmatisante car elle suppose que les irrigants ne sont pas capables de se responsabiliser et de respecter leurs allocations.

De plus, une régulation strictement fondée sur des incitations d'ordre économique est perçue comme inappropriée car elle favorise la déresponsabilisation des irrigants et les comportements opportunistes. Les participants mettent ici en évidence le risque de d'éviction (*crowding-out*) des motivations pro-environnementales des individus par les incitations économiques.

Les transferts financiers entre agriculteurs rappellent les mécanismes d'un marché, ce qui est rejeté sur des bases éthiques. De même, certains participants évoquent le risque de dérives financières (telles que le développement d'un marché noir de l'eau ou bien l'émergence de pressions exercées sur l'OUGC).

Enfin, l'application de pénalités financières constitue une menace pour la compétitivité du territoire, les transferts financiers étant « perdus » dans un système non productif. De même, la réduction de la production induite par l'application d'un bonus va à l'encontre de l'objectif premier de l'agriculture, qui est de nourrir une population grandissante.

2.2.4. Un système répressif nécessaire mais source d'injustice

Les acteurs locaux considèrent que le bonus-malus répond à un double besoin : celui d'un cadre répressif associé à un système de récompenses (jugées trop rares aujourd'hui). Bien que coûteux, le malus introduit une flexibilité qui n'existe pas dans un système de quotas stricts. Le transfert financier est perçu positivement par certains participants puisque, contrairement à un système d'amendes, l'argent reste au sein du secteur agricole. Les participants insistent tout de même sur la nécessité que

ce système soit strictement encadré par l'OUGC et que les montants soient transparents et acceptables (dans le sens où ils ne doivent pas pénaliser l'activité économique).

Toutefois, dans la plupart des ateliers (15 sur 16), les participants craignent que le bonus-malus ne creuse les écarts de revenu entre les irrigants, notamment entre céréaliers et producteurs de cultures à haute valeur ajoutée ou entre petites et grosses allocations en eau. Un sentiment d'injustice pourrait naître de la part d'irrigants pour qui payer un malus ne résulterait pas d'un choix stratégique mais d'une absence d'alternative. Ce serait par exemple le cas de producteurs de cultures pérennes avec des besoins en eau incompressibles (arboriculteurs), d'agriculteurs produisant sur des sols superficiels ou sableux, ou encore de jeunes agriculteurs ayant contracté des emprunts lourds dont le remboursement s'appuie sur l'optimisation de la production via l'irrigation. A l'inverse, le bonus contribue à donner une valeur monétaire à l'allocation initiale et peut conduire à la création de rentes, en particulier à des irrigants dont les prélèvements sont facilement réductibles sans fournir de réel effort d'économie (grosse allocation initiale, précipitations localisées, sols profonds, ressources de substitution,...). Ces injustices pourraient créer un climat de tensions entre irrigants.

Tableau 3 - 3 : Arguments issues des ateliers concernant le bonus-malus

Argument	Position	Nombre d'ateliers	Catégorie
Efficacité			
Le bonus-malus fournit les incitations nécessaires aux irrigants pour adapter leurs assolements et leurs pratiques	Pour	8	Economique
Le bonus-malus introduit de la flexibilité par rapport à un système de quotas fixes	Pour	6	Technique
Le malus est nécessaire car les comportements ne changent qu'avec un cadre répressif	Pour	4	Economique
Les incitations monétaires pourraient être couplées à d'autres outils incitatifs tels que la sanction volumétrique	Neutre	4	Economique
Le malus pourrait être volumétrique (réduction de l'allocation de l'année suivante)	Neutre	4	Ethique
Le montant du bonus doit être fixé à l'avance et certain pour être incitatif	Neutre	3	Economique
Le montant du malus pourrait être indexé sur les conditions annuelles (débit des rivières, moyennes des prélèvements, prix des cultures, etc.) pour augmenter son pouvoir incitatif.	Neutre	3	Economique
Le cycle du bonus-malus doit être adapté aux caractéristiques hydrogéologiques (hebdomadaire, annuel, pluriannuel,...)	Neutre	3	Technique
Le malus ne sera pas incitatif pendant les périodes de sécheresse et pour les cultures à haute valeur ajoutée	Contre	12	Economique
Le bonus ne sera pas incitatif car il n'est pas connu à l'avance et son montant est incertain	Contre	9	Economique
Le montant du bonus n'est pas assez élevé pour inciter aux changements de pratiques d'irrigation	Contre	8	Economique
Les irrigants disposent d'une marge de manœuvre limitée pour réduire leur irrigation	Contre	8	Technique
Une régulation économique ne permettra pas d'atteindre un équilibre volumétrique	Contre	7	Economique
Acceptabilité			
Le système est préférable à des taxes car l'argent reste au sein de la profession agricole	Pour	3	Social
Il est nécessaire et légitime de compenser les pertes occasionnées par la réduction de l'irrigation	Pour	2	Economique
Les fondements théoriques du bonus-malus semblent logiques et facilement compréhensibles (nécessité de réprimer et de récompenser)	Pour	2	Technique
Le système de bonus-malus doit être géré par l'OUGC et non par les services de l'Etat	Neutre	4	Institutionnel
Le bonus-malus n'est acceptable que dans les bassins où des systèmes de tarification sont déjà en place	Neutre	4	Social
Les allocations initiales doivent être bien définies de façon à pouvoir mesurer précisément l'effort d'économie fourni	Neutre	4	Ethique
Les bonus vont récompenser des irrigants qui n'auront pas fourni de réel effort d'économie (effet d'aubaine) et ce n'est pas acceptable	Neutre	3	Ethique

Les montants du bonus-malus doivent fournir des incitations sans handicaper la compétitivité de l'agriculture	Neutre	2	Economique
Le bonus-malus doit aussi être appliqué aux autres usagers pour être acceptable	Neutre	2	Social
Le bonus-malus ne doit être appliqué que sur des ressources bien délimitées et connues avec précision	Neutre	2	Technique
Les principes sous-jacents au mécanisme de bonus-malus (dimension financière, redistribution des malus, etc.) ne sont pas acceptables par les agriculteurs	Contre	11	Ethique
Le bonus-malus va créer des injustices due à l'hétérogénéité des exploitations (taille, cultures, sols, besoins en eau, investissements récents, etc.)	Contre	10	Economique
Le bonus-malus introduit une dimension financière qui n'a pas sa place dans la gestion de l'eau	Contre	6	Ethique
D'autres régulations économiques telles que l'assurance ou la tarification sont préférables au bonus-malus	Contre	5	Economique
Les recettes issues du malus devraient être réutilisées pour financer des projets collectifs (mesures d'économie d'eau et création de ressources) plutôt que dans des récompenses individuelles (bonus)	Contre	5	Institutionnel
Le bonus-malus est inutile car les irrigants respecteront leurs allocations	Contre	5	Technique
Le bonus-malus va accroître les contraintes et la charge de travail sur les exploitations	Contre	3	Economique
Faisabilité			
La visibilité économique doit être garantie par un contexte économique favorable et des règles de gestion stables pour encourager l'adoption de changements durables	Neutre	3	Economique
Des difficultés techniques empêcheront l'application du bonus-malus (la collecte des malus, le calcul des paiements, l'équilibre volumique, etc.)	Contre	6	Technique
L'effet incitatif sera limité par la complexité du calcul économique nécessaire à la prise de décision, tant pour les irrigants que l'OUGC	Contre	5	Technique
Les incertitudes (sur le climat, le comportement des autres, le montant du bonus, etc.) limiteront le pouvoir incitatif du bonus-malus	Contre	4	Economique
Risques			
Le bonus-malus risque d'encourager les comportements opportunistes	Contre	7	Economique
La dimension financière du bonus-malus risque générer des dérives telles que des pressions sur l'OUGC, des conflits entre irrigants ou encore l'émergence d'un marché noir	Contre	7	Ethique
Le bonus-malus risque de causer des dommages sur l'économie locale et la compétitivité de l'agriculture	Contre	6	Economique
Le bonus-malus risque de générer des dépassements inattendus et les dommages environnementaux qui vont avec	Contre	6	Technique
Le bonus-malus risque de déséquilibrer les filières à l'aval à cause des changements de cultures	Contre	5	Economique
Le bonus-malus risque d'accroître la fraude (utilisation de puits non déclarés, trafic de compteurs, etc.)	Contre	3	Technique

2.2.5. Renforcer l'efficacité et l'acceptabilité du bonus-malus

Afin de renforcer le pouvoir incitatif de l'instrument de régulation et le rendre ainsi plus efficace, les participants proposent de l'ajuster au contexte annuel, ce qui permettrait de jouer plus efficacement sur les paramètres qui influent sur les décisions d'irrigation des agriculteurs. Par exemple, le montant du malus pourra être indexé sur les conditions environnementales et économiques annuelles, telles que le climat, le prix des céréales ou le débit des rivières. Une autre suggestion consisterait à abandonner la dimension financière du bonus-malus pour une application en termes de volumes : un dépassement réduirait l'allocation l'année suivante et une économie d'eau s'ajouterait à l'allocation individuelle l'année suivante.

Pour les opposants au principe de récompense individuelle, le bonus doit être supprimé. Certains participants proposent de le remplacer par le réinvestissement de la recette des malus dans des mesures collectives de réduction des prélèvements (sensibilisation, formation, matériel de suivi,...) ou dans des structures de stockage.

2.3. Contrat solidaire

2.3.1. Perception globale

La plupart des participants (66%) considèrent qu'exploiter la solidarité au sein d'un groupe peut être un bon moyen de faire respecter le volume prélevable total (Figure 3 - 8). Les acteurs institutionnels sont particulièrement confiants dans la capacité d'un groupe d'irrigants à respecter un volume collectif (84%). Les irrigants expriment eux une opinion plus contrastée : 56% pensent qu'un tel contrat peut être efficace, contre 39% qui ont une opinion contraire. Au cas où la possibilité de signer un tel contrat leur serait offerte, seule une petite moitié des irrigants (43%) serait prête à signer un contrat solidaire (Figure 3 - 8). Le scénario du contrat solidaire a suscité des réactions majoritairement positives, les oppositions concernant principalement une remise en question de l'efficacité d'un tel outil (50% d'arguments contre) et des inquiétudes quant à sa mise en œuvre pratique (40% d'arguments contre) (Figure 3 - 5). Le Tableau 3 - 4 détaille les principaux arguments donnés par les participants en réaction à ce scénario.

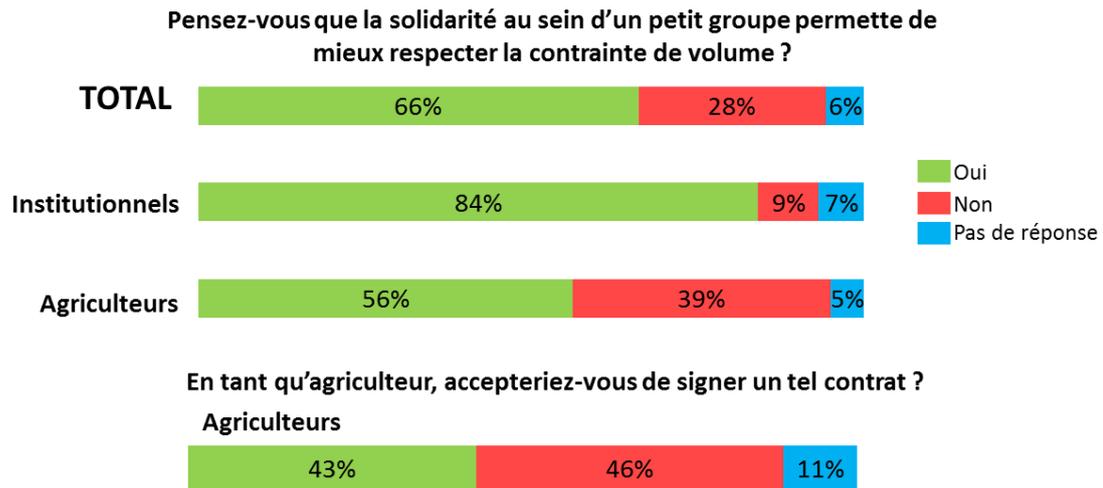


Figure 3 - 8 : Opinion des participants quant à l'efficacité du contrat solidaire

2.3.2. Un instrument économiquement intéressant mais risqué

Les participants trouvent plusieurs avantages économiques au contrat solidaire. Son point fort est d'offrir de la flexibilité aux irrigants en leur permettant d'échanger des volumes et d'opérer des arrangements entre membres du groupe. Ces arrangements sont rendus possibles par les complémentarités (intra et interannuelles) de besoins en eau qui existent entre exploitations d'orientations techniques différentes. En mutualisant leurs allocations individuelles, s'accordant sur les rotations culturales, voire en convenant d'un assolement commun, le contrat solidaire agit comme une assurance en réduisant l'exposition individuelle au risque lié aux variations climatiques, se traduisant par un accroissement des revenus. Cette stratégie de mutualisation des moyens de production est déjà largement exploitée dans le monde agricole concernant le machinisme, les infrastructures de stockage des récoltes, la main d'œuvre, etc.

Cependant, les participants craignent que seule une minorité d'irrigants ait recours à cet outil, pour plusieurs raisons : (1) les incitations à entrer dans un contrat (réduction de la cotisation à l'OUGC) ne sont pas suffisantes ; (2) la pénalité collective est dissuasive ; (3) le raisonnement individualiste prévaut dans le monde agricole ; (4) les exploitations étant peu hétérogènes, le nombre d'irrigants qui auront un intérêt à mutualiser leurs ressources sera négligeable ; (5) il existe un réel risque de non-respect du volume collectif lors des années sèches, associé à un risque économique (sanction collective) et social (conflits dans le groupe). Les participants estiment donc que des exemples de

contrats réussis seront nécessaires pour convaincre les irrigants d'adopter cette forme innovante de gestion, qui est aujourd'hui éloignée des schémas de gestion individuelle des exploitations.

Pour maximiser l'impact des contrats sur la ressource en eau, les participants ont des opinions partagées. Pour certains, il est indispensable d'imposer le contrat en le rendant obligatoire afin qu'il couvre la totalité d'un territoire. Pour d'autres, il doit rester un outil optionnel basé sur le volontariat, car forcer les irrigants à s'entendre et partager un risque serait contre-productif. Concernant la taille du groupe, les opinions sont partagées : il ressort qu'il faut trouver un compromis entre un groupe restreint dans lequel la négociation et le contrôle social puissent s'appliquer et un groupe suffisamment large pour que l'impact sur la ressource soit sensible.

2.3.3. Un instrument conforme à l'idéal de gestion collective

Le contrat solidaire est en accord avec les valeurs éthiques et sociales des acteurs de terrain. Ainsi, près de 80% des arguments en lien avec l'acceptabilité de l'instrument sont positifs (Figure 3 - 5). Globalement, les participants sont sensibles aux principes sous-jacents au contrat : autorégulation, responsabilisation, solidarité, dialogue, confiance mutuelle, etc. Ils notent aussi qu'il constitue un moyen pour les irrigants d'échapper à la pression du contrôle individuel et véhicule une image positive d'une communauté d'irrigants responsables et capables de gérer l'eau par eux-mêmes.

Cependant, deux points soulevés pendant les ateliers remettent en question l'acceptabilité de l'instrument. Le premier concerne l'émergence de tensions au sein des contrats qui pourraient réduire la coopération. Cela peut arriver dans plusieurs cas : lors des années sèches, si une sanction collective est appliquée, ou bien si les efforts ne sont pas répartis équitablement entre les irrigants. En effet, certains participants craignent que les intérêts individuels ne prennent le dessus sur les intérêts collectifs si bien que certains membres compteront sur les autres pour faire des efforts d'économie (comportement dit du « passager clandestin » (*free-riding*)). D'autres pensent même que le partage de la pénalité via la sanction collective incite les irrigants à dépasser individuellement. Des conflits peuvent aussi naître entre les irrigants en contrat et irrigants hors contrat : si les irrigants individuels ne respectent pas leur allocation et annulent les efforts fournis par le groupe pour conserver la ressource. A l'inverse, les irrigants qui décident de rester hors contrat pourraient être considérés injustement

comme individualistes et subir une stigmatisation. Ainsi, pour une meilleure acceptabilité, chaque contrat devra être conçu avec une attention particulière prêtée aux règles d'organisation et aux termes de gouvernance interne.

De plus, les participants ont une perception négative de la dimension collective du contrat, qui rappelle des systèmes agricoles collectivistes qui sont inacceptables par les irrigants. Au-delà de cette posture, un autre argument avancé par certains est que la gestion d'une exploitation agricole est incompatible avec un tel instrument, car individuelle par nature (investissements individuels, contrats industriels individuels, etc.).

2.3.4. Un outil qui sera sous-utilisé

La faisabilité de ce scénario est également remise en question par les participants (Figure 3 - 5). Comme lors de la discussion du bonus-malus, les irrigants insistent sur la faible marge de manœuvre dont ils disposent pour réduire leurs prélèvements et procéder à des arrangements entre agriculteurs au sein du contrat. D'abord parce que les besoins réels sont inconnus en début de saison étant donnée la forte incertitude sur le climat. Ensuite parce que le remboursement des investissements nécessite un usage optimisé de l'irrigation. Enfin, certaines cultures ont des besoins incompressibles, et parfois sur le long terme (comme les vergers).

Dans la pratique, des facteurs humains pourront limiter la coopération dans le contrat : l'entente sera rendue d'autant plus difficile que les irrigants sont nombreux ou ont un raisonnement individualiste. Le contexte agronomique est aussi important : l'hétérogénéité des productions est nécessaire pour permettre des échanges de volumes dans le contrat (notamment la présence de céréales est intéressante car elles peuvent être menées en sec).

Tableau 3 - 4 : Arguments concernant le Contrat Solidaire

Argument	Position	Nombre d'ateliers	Catégorie
Efficacité			
Le contrat solidaire offre la possibilité de réallouer les volumes entre agriculteurs hétérogènes	Pour	5	Economique
En mutualisant leurs allocations, les irrigants groupés dans un contrat réduisent les contraintes individuelles et leur exposition au risque	Pour	5	Economique
Le contrat de solidarité doit être obligatoire	Pour	5	Institutionnel
Les interactions sociales (dialogue, solidarité, engagement mutuel, etc.) assureront le succès du contrat solidaire	Pour	5	Social
Le contrat de solidarité permettra de garantir et d'accroître le revenu des irrigants	Pour	3	Economique
Le contrat de solidarité introduit de la flexibilité	Pour	3	Economique
En mutualisant les allocations en eau, le contrat permet d'optimiser l'usage de l'eau et de valoriser toute la ressource disponible	Pour	3	Economique
La taille du groupe doit être limitée de façon à favoriser la solidarité et le contrôle mutuel	Neutre	9	Technique
L'hétérogénéité des exploitations (cultures, pratiques, orientation technique, etc.) est nécessaire pour rendre le contrat avantageux aux irrigants	Neutre	9	Technique
Les assolements et leurs rotations doivent être gérés collectivement par le groupe pour optimiser l'usage interannuel de l'eau	Neutre	6	Technique
Le contrat ne sera économiquement intéressant que pour les agriculteurs dans des situations bien particulières (producteurs de semence, ayant une rotation simple, étant proche de la retraite, etc.)	Neutre	5	Economique
La taille du groupe doit être grande pour avoir un impact sur la ressource	Neutre	4	Institutionnel
Pour signer un contrat, les irrigants doivent se connaître et s'entendre	Neutre	4	Social
Les contrats seront seulement signés entre amis, collègues ou famille, si bien que l'étendue sera limitée.	Neutre	4	Social
Le contrat de solidarité doit rester volontaire	Neutre	3	Institutionnel
Des exemples de contrats réussis sont nécessaires pour produire un effet boule de neige sur la signature de contrats	Neutre	3	Social
Les agriculteurs sont trop individualistes pour signer un contrat de solidarité	Contre	12	Social
Le contrôle mutuel ne sera pas efficace	Contre	6	Social
Les bénéfices économiques à entrer dans un contrat sont trop faibles, en particulier pour les irrigants qui respectent leur allocation	Contre	5	Economique
La responsabilité conjointe et la sanction collective dissuaderont les agriculteurs de signer des contrats	Contre	4	Social
Il existe trop peu d'hétérogénéité à l'échelle du bassin qui pourrait être exploitée dans des contrats	Contre	3	Economique
Le contrat ne sera pas efficace dans des conditions climatiques ou économiques extrêmes, car les comportements	Contre	3	Social

opportunistes et individualistes prendront le dessus sur la coopération

Acceptabilité

Les principes sous-jacents au contrat solidaire correspondent aux valeurs éthiques et sociales de la profession agricole	Pour	9	Ethique
Le contrat de solidarité fournit un cadre légal à des arrangements informels qui existent déjà	Pour	5	Institutionnel
La gestion collective véhiculera une image positive des agriculteurs vers les services de l'Etat et la société	Pour	3	Social
Le contrat doit être accompagné par un animateur ou un médiateur pour faciliter la résolution des problèmes et des conflits entre les membres d'un contrat	Neutre	4	Institutionnel
Les règles internes au contrat doivent être clairement définies par les membres	Neutre	4	Institutionnel
La signature d'un contrat va nécessiter un changement de mentalité chez les irrigants (passage d'un raisonnement individualiste vers un raisonnement collectif)	Neutre	3	Social
Le contrat de solidarité est associé à l'image négative des exploitations collectives	Contre	3	Social
La gestion de groupe ajoute des contraintes à l'irrigant et compromet sa capacité d'adaptation et sa liberté individuelle	Contre	3	Ethique

Faisabilité

La gestion collective existe déjà dans le secteur agricole sur d'autres ressources (main d'œuvre, équipement, infrastructure de stockage, etc.)	Pour	12	Social
L'autorégulation a déjà démontré son efficacité pour gérer des ressources communes	Pour	9	Economique
Peu d'irrigants pourront réduire leur irrigation étant donné la faible marge de manœuvre	Contre	6	Technique
Ajouter un niveau de gestion complexifie la gestion de la ressource à l'échelle du bassin	Contre	5	Institutionnel
La mise en œuvre du contrat sera freinée par des limites techniques	Contre	4	Technique

Risques

Des conflits risquent de naître au sein des groupes dans les situations extrêmes (sécheresses, sanction collective, etc.)	Contre	11	Social
Les intérêts individuels risquent de dominer les intérêts collectifs et générer des dépassements	Contre	4	Economique
Des conflits risquent de naître entre les groupes et les irrigants individuels (remise en cause de l'effort du groupe, stigmatisation, etc.)	Contre	4	Social

3. Conditions locales favorisant la mise en œuvre des instruments

3.1. Analyse comparée des résultats entre terrains d'étude

Cette sous-section vise à rapporter les différences d'argumentaires mises en évidence entre les terrains d'étude et propose des éléments d'interprétation pour les expliquer. Elle débute par un aperçu global des variations dans les évaluations, poursuit par une brève description des résultats par terrain, pour conclure sur des éléments contextuels pouvant expliquer les différences d'évaluation.

3.1.1. Vue d'ensemble des différences

La répartition des arguments selon leur position (pour, contre, neutre) concernant le bonus-malus est relativement similaire d'un terrain à l'autre (Figure 3 - 9) : environ 15% des arguments s'avèrent en faveur de ce système, 75% en refus et 10% neutres. Entre 60 et 70% des agriculteurs de l'Aisne, de la Drôme et du Clain seraient prêts à payer un malus pour dépasser leur autorisation, contre un tiers des agriculteurs de l'Est Lyonnais et du Tarn-et-Garonne. Le fait que près de 50% de ces derniers refuse de payer un malus reflète, selon nous, davantage l'expression d'un refus de l'instrument répressif qu'un réel choix entre bonus et malus.

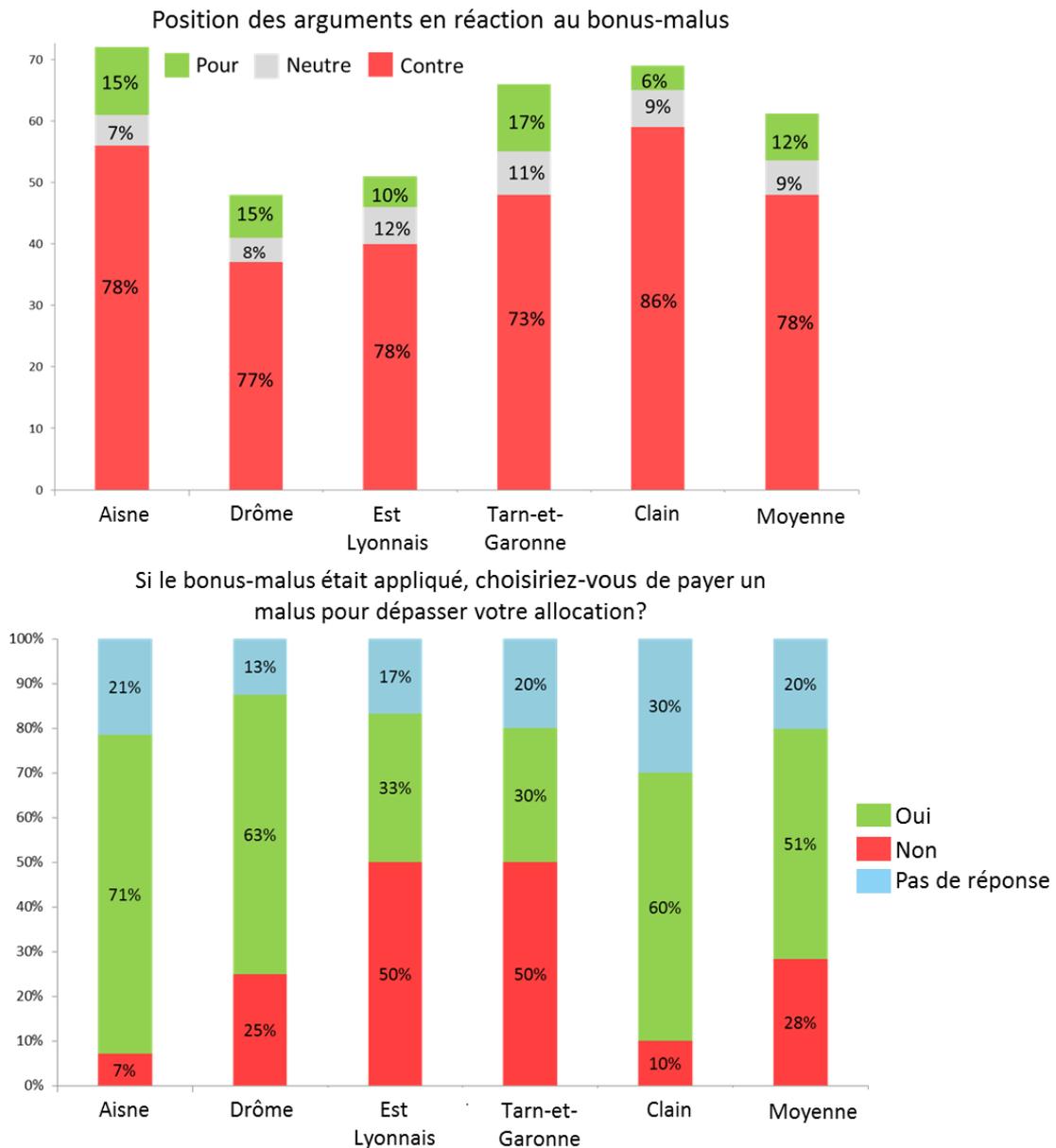


Figure 3 - 9 : Opinions des participants issues des débats et des questionnaires individuels concernant le bonus-malus, par terrain d'étude

A l'inverse de ce que l'on observe pour le bonus-malus, les arguments évoqués par les participants concernant le contrat solidaire varient sensiblement d'un terrain à l'autre : pour l'Aisne, la Drôme et l'Est Lyonnais, les arguments « pour » ne représentent que 15 à 20% de la totalité des arguments fournis, alors qu'ils pèsent 34 et 38% dans les terrains du Tarn-et-Garonne et du Clain. Dans le Tarn-et-Garonne, le résultat est en fait fortement influencé par l'opinion du groupe des institutionnels qui se sont montrés assez enthousiastes sur les potentialités de cet outil de gestion (Figure 3 - 10). En revanche, sur le Clain, les agriculteurs s'accordent avec les institutionnels pour considérer le contrat

solidaire comme potentiellement intéressant pour eux, comme le montre la forte proportion d'agriculteurs étant prêts à signer un tel contrat (90%, Figure 3 - 10).



Figure 3 - 10 : Opinions des participants issues des débats et des questionnaires individuels concernant le contrat solidaire, par terrain d'étude

3.1.2. Arguments spécifiques par terrain

Les différences observées dans les réponses aux questionnaires, le contenu des discussions et les arguments avancés par les participants des différents terrains sont en partie dues au fait que les acteurs locaux évoluent dans des environnements naturels, économiques et sociaux différents. Elles montrent l'importance du contexte et des spécificités des situations locales dans l'évaluation des instruments. Cette section propose, pour chaque terrain d'étude, de faire le lien entre quelques-unes des principales

spécificités du terrain⁸ et le contenu des discussions dans les ateliers. L'idée est ici d'illustrer l'influence des conditions locales sur les positions défendues par les participants, sans pour autant fournir une analyse exhaustive, pour chaque site d'étude, de l'ensemble des liens pouvant être établis entre les conditions locales et les discussions des ateliers.

3.1.2.1. Bassin de la Serre, Aisne

L'une des spécificités du bassin de la Serre réside dans la présence de très grandes entreprises agricoles qui produisent des légumes sous contrats pour les industries de conserves. Les exploitants agricoles ayant participé aux groupes sont très dépendants du marché et des exigences de leurs clients industriels. Ils doivent être réactifs pour répondre à leur demande, irréprochables sur la qualité des productions et très compétitifs. D'un point de vue humain, ces exigences induisent un mode de fonctionnement très individuel. Ainsi, le contrat solidaire a soulevé davantage de réactions d'opposition que dans les autres terrains (Figure 3 - 10). Les irrigants ont insisté sur l'incompatibilité du contrat solidaire avec la stratégie individuelle de leurs exploitations qui leur assure une flexibilité et une adaptabilité aux contrats industriels. Le bonus-malus semble en cela plus acceptable, puisqu'il repose sur une gestion individuelle des prélèvements. Cependant, le flux financier est perçu comme une menace contre l'économie régionale : les irrigants craignent une délocalisation des usines dans des bassins où la ressource est garantie.

3.1.2.2. Plaine de Valence, Drôme

Ce terrain est caractérisé par une ressource souterraine jugée abondante (par les acteurs locaux) et par conséquent par l'absence d'historique de régulation ou de restriction sur les prélèvements individuels en eau souterraine (contrairement aux réseaux d'eau superficielle qui maillent le territoire). Les usagers ne ressentent pas les externalités négatives de leurs prélèvements, ni le besoin de limiter l'exploitation de la nappe. Une réflexion sur la réduction des volumes autorisés et les moyens de limiter les prélèvements est lancée par les services de l'Etat sur le bassin mais sans impliquer les agriculteurs. C'est pourquoi nous constatons que les instruments de régulation que nous proposons

⁸ Pour rappel, une description des sites d'étude est proposée dans le Chapitre 2 et de façon plus détaillée dans l'Annexe I.

paraissent très fictifs aux yeux de la profession agricole. Une grande partie de la discussion est consacrée aux modalités de répartition initiale du volume prélevable entre les irrigants, en lien avec la mise en place de l'OUGC, ce qui révèle le faible niveau d'information des irrigants sur la situation de leur bassin et les changements règlementaires et institutionnels à venir. De même, le constat de la nécessité de préserver la nappe n'étant pas partagé par les acteurs, la discussion sur les moyens d'en réguler l'accès est jugée par certains irrigants inutile, voire dangereuse pour l'économie locale.

3.1.2.3. Est Lyonnais, Rhône

A l'inverse, la nappe de l'Est Lyonnais a la particularité de posséder plusieurs décennies d'historique de gestion de l'eau souterraine, puisque les prélèvements en nappe sont en grande partie collectifs et effectués par le SMHAR (Syndicat Mixte d'Hydraulique Agricole du Rhône) qui redistribue l'eau via un réseau sous pression. Ainsi, si les irrigants approuvent les principes du contrat, ils soulignent néanmoins des limites très spécifiques à leur contexte, telles que les capacités limitées de leurs pompes ou de leurs réseaux, dont le dimensionnement pourrait être inadapté aux arrangements et tours d'eau favorisés par le contrat solidaire. De même, ajouter un échelon supplémentaire par un contrat de groupe apparaît inutile pour ces irrigants déjà encadrés par un gestionnaire local préexistant. Les acteurs de l'Est Lyonnais voient plus d'avantages à des outils alternatifs basés sur une concertation interne aux irrigants en amont de la saison d'irrigation, qui s'inspirent d'expériences réussies dans des bassins voisins, comme en Isère où chaque année, les irrigants de chaque sous-bassin s'accordent sur une réallocation annuelle de la ressource.

3.1.2.4. Plaine du Tarn-et-Garonne

L'agriculture irriguée de la plaine du Tarn-et-Garonne est caractérisée par la présence de cultures arboricoles à haute valeur ajoutée, dont la qualité nécessaire à la commercialisation est fortement dépendante de l'apport en eau. Or les allocations en eau sont basées sur des acquis historiques qui sont incohérentes avec les besoins et ne permettent pas d'optimiser la valorisation de la ressource à l'échelle du territoire. Ces allocations étant jugées injustes et trop rigides par les irrigants, et l'Etat manquant de moyens pour contrôler leur respect, les volumes autorisés sont souvent dépassés, tout en restant mal connus. Les institutionnels du Tarn-et-Garonne sont ainsi à la recherche d'outils de gestion

qui permettent à la fois la circulation d'information sur les besoins et les consommations pour rendre le partage de l'eau plus juste, et l'application de sanctions pour inciter à son respect. C'est pourquoi certains institutionnels du Tarn-et-Garonne se sont montrés en faveur du bonus-malus, qui revêt selon eux le caractère répressif et souple qu'ils recherchent.

A l'inverse, les irrigants sont attachés au système actuel qui leur est favorable car peu contraignant. Ils refusent l'idée de payer pour dépasser leur autorisation, comme dans le cas du bonus-malus. Cette possibilité leur paraît d'autant plus inacceptable que les volumes autorisés tels qu'ils les connaissent aujourd'hui sont incohérents avec leurs réels besoins. Ils se sont également montrés réticents à l'idée de mutualiser la ressource dans un contrat à respecter collectivement, admettant le caractère individualiste du monde agricole. De même, la transparence des prélèvements prévue dans le contrat est jugée intrusive et perçue comme une atteinte à leurs libertés individuelles, auxquelles ils sont particulièrement attachés. Ils insistent sur l'existence - assez spécifique à ce terrain, d'irrigants sur qui les mécanismes de contrôle par les pairs et de pression sociale sont inefficaces pour modifier le comportement.

3.1.2.5. Bassin du Clain, Vienne

Les acteurs du bassin du Clain sont régulièrement confrontés des périodes de pénurie d'eau. Les agriculteurs sont donc familiers des mesures de crise et de restrictions, basées notamment sur l'instauration de volumes prélevables hebdomadaires. La gestion des prélèvements en eau souterraine est relativement élaborée dans ce bassin, où les niveaux de l'eau des nappes font l'objet d'une surveillance étroite par des piézomètres dont les informations sont accessibles à tous les irrigants via un site internet ad hoc. Les participants ont massivement rejeté le bonus-malus (86% d'arguments défavorables) en faveur du contrat solidaire (72% d'arguments favorables et neutres). La perspective de se voir réduire davantage les volumes autorisés ne leur paraît pas acceptable et la réduction des prélèvements pour obtenir un bonus dans ce système déjà très contraint semble difficilement faisable. L'intérêt provoqué par le contrat solidaire (90% des irrigants se déclarent prêts à signer) peut résulter (i) de l'existence sur ce bassin de mécanismes de concertation et de surveillance collective des niveaux de nappe qui crédibilise les mécanismes du contrat crédibles et les rend envisageables, (ii) de la

volonté des irrigants de ce bassin de se soustraire à la surveillance et à la pression exercées par l'administration à leur égard et (iii) du besoin d'engager une réflexion sur les modalités de gestion collective des retenues de substitution en étude de faisabilité au moment des ateliers.

3.1.3. Interprétation des différences entre les terrains

Nous identifions cinq principales caractéristiques contextuelles permettant d'expliquer les différentes orientations prises par les débats dans les différents sites d'étude (Tableau 3 - 5) : (1) le niveau de tension sur la ressource, (2) l'existence d'une ressource de substitution, (3) l'hétérogénéité des cultures irriguées, (4) l'historique de gestion des eaux souterraines et (5) le niveau de connaissance de la nappe et de conscience du problème de surexploitation.

Ces facteurs influent de deux façons sur les discussions des ateliers : (1) ils influencent la perception par les participants du problème de surexploitation de la ressource et de la nécessité de réguler les prélèvements, dont le constat n'est pas partagé par tous les acteurs dans certains bassins, rendant notre démarche inutile, voire illégitime aux yeux de certains participants ; (2) ils influencent la perception des instruments eux-mêmes et leur capacité à être efficaces et faisables dans les conditions particulières de chaque terrain.

Tableau 3 - 5 : Facteurs contextuels expliquant les différences de résultats entre les terrains

	Tension avérée sur la ressource	Ressource de substitution	Hétérogénéité des cultures et des valeurs marginales de l'eau	Historique de gestion des eaux souterraines	Connaissance de l'hydrogéologie et conscience du problème
Aisne	Non	Non	Oui	Non	Oui
Drôme	Non	Oui	Non	Non	Non
Est Lyonnais	Non	Non	Non	Oui	Non
Tarn-et-Garonne	Oui	Oui	Oui	Non	Non
Clain	Oui	Non	Oui	Oui	Oui

Le premier facteur mis en évidence est le niveau de pression exercée sur la ressource par ses usagers. Une forte tension sur la ressource entraîne une dégradation de l'environnement et des manifestations économiques (perte de revenu) et sociétales (émergence d'associations environnementales, tensions entre irrigants). Cette caractéristique se retrouve dans deux terrains d'étude : le Tarn-et-Garonne et le bassin du Clain et influent sur le niveau de perception du problème

de surexploitation par les participants. Ainsi, dans ces deux terrains, on observe des débats plus vifs, car la réalisation des scénarios est perçue comme plus probable et les enjeux ne sont pas hypothétiques, alors que dans les terrains où la tension est uniquement latente, la régulation des prélèvements est perçue comme une perspective beaucoup plus lointaine.

La présence d'une ressource de substitution (nappe plus profonde ou bien une ressource superficielle, gérée collectivement ou bien par un accès individuel) est aussi un facteur influençant la perception du problème par les participants, pouvant conduire les irrigants à minimiser les enjeux environnementaux et économiques liée à la régulation des eaux souterraines.

L'hétérogénéité des cultures sur un bassin est un facteur contextuel qui influence la perception des instruments par les participants. La présence de cultures caractérisées par une valeur marginale de l'eau élevée, notamment lorsque l'irrigation est garante de la qualité du produit (arboriculture, semences, légumes d'industrie, etc.) induit l'existence de producteurs caractérisés par un consentement à payer pour l'eau d'irrigation élevé. Dans les ateliers, ils insistent sur l'incompressibilité de leurs besoins en eau et orientent le débat sur l'impact de la régulation, en particulier économique, sur les filières en aval et sur l'économie locale. C'est ce que nous avons observé dans les ateliers des bassins du Tarn-et-Garonne (filière arboricole) et de la Serre (filière agro-industrielle des légumes de conserves).

L'existence d'un historique de régulation des eaux souterraines et plus particulièrement d'une gestion collective semble influencer sur les discussions en modifiant la perception des outils de gestion. Par exemple, dans le bassin du Clain, qui dispose d'une gestion volumétrique des prélèvements individuels en nappe et dans l'Est Lyonnais où le syndicat du SMHAR est en charge du pompage et de la distribution de l'eau issue de la nappe, l'exercice exploratoire est restreint par l'existence de ces cadres de gestion. Ils sont perçus à la fois comme des contraintes pour l'application du nouvel instrument (qui devra s'y adapter aux contraintes institutionnelles de l'organisation et techniques du réseau) et comme des catalyseurs en fournissant à l'instrument un terrain technique (connaissances de la ressource, connaissance des prélèvements, etc.) et organisationnel (expérience de gestion, irrigants habitués à être régulés, etc.) indispensable à son fonctionnement.

Enfin le dernier élément contextuel susceptible d'orienter les débats réside dans le niveau de connaissance de la nappe et des prélèvements via des études hydrogéologiques, qui est fortement corrélé avec le niveau de conscience des usagers de l'état de la nappe et de l'impact de leurs prélèvements sur la ressource. Le niveau de connaissance de la nappe et de fiabilité des informations, ainsi que le partage de cette connaissance avec les usagers favorisent l'atteinte d'un consensus entre les parties prenantes, en particulier sur le constat de surexploitation de la ressource et donc sur la recherche de solutions. L'absence d'un tel consensus tend à orienter le débat sur la contestation de cette situation de surexploitation et réduit la propension des participants agriculteurs à réagir et fournir des argumentations construites concernant les instruments de gestion.

3.2. Facteurs contextuels influençant la réussite des instruments de régulation

Cette section tire des résultats précédents un ensemble de facteurs contextuels que nous avons identifiés comme pouvant favoriser ou limiter la réussite des instruments de régulation considérés dans la thèse.

3.2.1. Bonus-malus

Le Tableau 3 - 6 présente les facteurs contextuels qui pourront favoriser ou empêcher le bonus-malus d'atteindre ses objectifs de respect du volume prélevable et de flexibilité.

L'efficacité du bonus-malus sera favorisée par l'hétérogénéité des conditions naturelles (nappe, précipitations), agronomiques (cultures, sols, etc.) et économiques (valeur marginale de l'eau). La diversité des conditions environnementales et agronomiques dans lesquels les agriculteurs exercent leurs activités crée une hétérogénéité des fonctions de profit, qui favorise l'adoption de stratégies différentes par les agriculteurs : pour maximiser leur profit, certains auront intérêt à payer un malus pour dépasser leur autorisation quand d'autres réduiront leur prélèvement pour recevoir un bonus. Cette hétérogénéité est donc garante de l'équilibre des prélèvements à l'échelle du territoire (satisfaction de la condition d'hétérogénéité des stratégies, voir Chapitre 1). Toutefois, cette hétérogénéité favorisera les injustices : suivant leurs orientations technico-économiques, les

exploitations n'auront pas les mêmes capacités financières et techniques pour s'adapter au bonus-malus (notamment, pour payer le malus). Son acceptabilité en sera réduite.

L'efficacité du bonus-malus sera réduite par l'intensité des incertitudes touchant les conditions naturelles (climat, nappe), agronomiques (besoins des plantes) et comportementales (prélèvements des autres irrigants) dans lesquelles l'agriculteur réalise ses choix d'irrigation. En effet, le bonus-malus repose sur l'hypothèse que les individus ont la capacité d'anticiper les fonctions de profit des autres irrigants, et ainsi de prévoir leur comportement et d'estimer le montant du bonus. Les incertitudes sur l'environnement et les besoins des cultures altèrent la capacité des irrigants à réaliser ces estimations. Dans ces conditions, le pouvoir incitatif de l'instrument est fortement diminué.

L'acceptabilité du bonus-malus est susceptible d'être plus élevée dans les bassins où aucune régulation n'est en place par rapport à des bassins ayant déjà mis en œuvre des moyens de limitation des prélèvements. L'absence de régulation dans le cas d'une nappe surexploitée crée des situations économiques où les usagers ressentent les externalités des prélèvements et internalisent leurs coûts (externalités environnementales, augmentation des coûts de pompage, etc.). Ils ont donc un intérêt économique à ce que l'accès à la ressource soit limité. Des mesures répressives à l'encontre des irrigants qui ne respectent pas les règles, et des mesures compensatoires pour ceux qui se sont engagés volontairement dans une démarche de réduction de l'irrigation seront d'autant mieux acceptées qu'elles répondent à un besoin de régulation exprimé par les acteurs locaux.

Tableau 3 - 6 : Facteurs contextuels favorisant ou limitant la réussite du bonus-malus

	Favorable	Défavorable
Hydrogéologique		Nappe réactive et difficile à prévoir
Climatique	Hétérogénéité des précipitations sur le bassin	Incertitude sur le climat Sécheresses et conditions extrêmes
Agronomique	Hétérogénéité des cultures Marge de manœuvre pour réduire les prélèvements	Incertitude sur les prélèvements des autres Conditions agronomiques augmentant les besoins en eau (cultures pérennes, sols sableux, etc.)
Economique	Hétérogénéité dans les valeurs marginales de l'eau des cultures	Prix de vente des productions comme principal déterminant dans l'assolement Hétérogénéité des orientations technico-économiques
Institutionnel	Absence et besoin d'un cadre répressif Absence et besoin d'un système de de compensation	
Ethique		Valeurs éthiques se positionnant contre la dimension financière

Enfin, plus la communauté agricole d'un bassin est caractérisée par des valeurs éthiques et sociales qui s'opposent aux mécanismes financiers et aux principes associés (monétarisation d'une ressource naturelle, sélection des irrigants sur des critères d'efficacité économique, etc.), moins le malus apparaîtra comme un instrument envisageable. Elle sera plus encline à promouvoir une logique de gestion collective par la responsabilisation des usagers.

3.2.2. Contrat solidaire

Le Tableau 3 - 7 présente les conditions réelles de terrain qui agiront comme des facteurs favorisant ou limitant le succès du contrat solidaire.

La signature d'un contrat solidaire par les irrigants sera favorisée par l'hétérogénéité des cultures et des orientations technico-économiques. Selon leur spécialisation, les exploitations sont exposées à des risques variés et dispersés dans le temps, si bien que la mutualisation du risque via le contrat peut permettre de minimiser l'exposition individuelle au risque. De la même façon, l'hétérogénéité des cultures est susceptible de créer des complémentarités de besoins en eau (dans le temps et selon les

objectifs de quantité ou de qualité) et donc un intérêt à mutualiser la ressource et à procéder à des échanges d'eau intra et interannuels au sein du contrat.

Les irrigants seront d'autant plus confiants et enclins à signer un contrat qu'ils auront été convaincus de l'intérêt des démarches de gestion collective par des exemples réussis de gestion collective d'une ressource commune (de l'eau via les réseaux superficiels mais aussi des moyens de production, d'infrastructures de stockage, de commercialisation, etc.).

La promotion et la diffusion du contrat solidaire seront facilitées par l'intervention d'acteurs de terrain animés par des valeurs éthiques et sociales de solidarité et de gestion collective. L'instrument est également susceptible d'être mobilisé sur des territoires où l'image sociétale des agriculteurs est sortie abîmée par des années de sécheresses consécutives : il sera mis en avant comme la démonstration de l'engagement et de la responsabilisation des irrigants dans la gestion quantitative de la ressource.

Une fois signé, le contrat sera d'autant mieux respecté que les liens sociaux qui unissent les irrigants dans la communauté agricole sont forts et caractérisés par des sentiments de solidarité, d'engagement mutuel et de réciprocité, et que des mécanismes de contrôle mutuel, de pression sociale et de mise en conformité avec les normes sociales sont effectifs dans la communauté.

Tableau 3 - 7 : Facteurs contextuels favorisant ou limitant le succès du contrat solidaire

	Favorable	Défavorable
Hydrogéologique		Nappe réactive et difficile à prévoir
Climatique	Hétérogénéité des précipitations sur le bassin	Incertitude sur le climat Sécheresses et conditions extrêmes
Agronomique	Hétérogénéité des cultures Rotations des cultures Marge de manœuvre pour réduire les prélèvements	Incertitude sur les prélèvements des autres Conditions agronomiques augmentant les besoins en eau (cultures pérennes, sols sableux, etc.) Présence de cultures aux besoins incompressibles
Social	Liens sociaux : entraide, solidarité, partage d'informations, travail en commun, etc. Contrôle mutuel et pression sociale Besoin d'une revalorisation de l'image des agriculteurs dans la société	Individualisme Tensions préexistantes entre irrigants
Economique	Hétérogénéité des orientations technico-économiques	Raisonnement individualiste de l'exploitation agricole Filières à l'aval travaillant avec des exploitations individuelles
Institutionnel	Expériences antérieures de gestion collective (de l'eau ou d'un autre moyen de production, de stockage ou de commercialisation)	
Ethique	Valeurs éthiques de solidarité et partage d'un idéal de gestion collective	

4. Retour sur les hypothèses de comportements

Cette section discute les résultats issus des ateliers en les confrontant avec les hypothèses de comportements sur lesquelles reposent les mécanismes des deux instruments (rationalité économique, maximisation économique, existence de préférences sociales, etc.).

4.1.1. Remise en question de la rationalité économique

Le bonus-malus repose sur l'hypothèse que dans le but de maximiser leur profit, les agriculteurs s'adapteront aux incitations économiques du bonus et du malus et que, selon les exploitations et les valeurs marginales de l'eau des cultures, ils choisiront l'une ou l'autre des stratégies (dépasser ou économiser).

Les discussions ayant émergé dans les ateliers tendent à montrer que si les incitations économiques sont jugées capables d'agir sur les comportements, la régulation purement économique de la ressource en eau se heurte à des considérations éthiques : monétarisation d'une ressource naturelle, opposition à un idéal de gestion collective, opposition à la fonction nourricière de l'agriculture, stigmatisation des irrigants, etc. Les agriculteurs revendiquent la fonction nourricière l'agriculture et rejettent l'idée de recevoir une compensation financière pour cesser de faire leur travail. On peut donc s'attendre à ce que des irrigants ne réduiront pas leur irrigation alors qu'ils auraient intérêt à le faire pour recevoir un bonus et augmenter leur revenu, car ils jugent qu'il s'agirait d'une décision contraire au fondement même du travail de l'agriculteur. Par ailleurs, la régulation économique favorise la déresponsabilisation et le désengagement des irrigants dans la gestion durable de l'eau. C'est l'effet d'éviction inhérent aux incitations économiques (« crowding-out ») : elles réduisent la motivation intrinsèque de l'individu à limiter son usage de l'eau (par principe, pour des motivations morales, etc.) en donnant un signal économique qui laisse penser que la ressource est monnayable (« a fine is a price » Gneezy et Rustichini (2000a)) et que l'acquittement d'un paiement est synonyme d'autorisation à dépasser (Bowles, 2008; Bowles et Polania-Reyes, 2012).

Ainsi, les ateliers ont montré la méfiance des participants envers les mécanismes financiers et l'importance des motivations déontologiques et éthiques au-delà des simples motivations économiques : de tels positionnements éthiques remettent en question l'hypothèse de rationalité uniquement économique sur laquelle repose cet instrument et implique de réfléchir à une rationalité englobant d'autres considérations telles que les préférences sociales et éthiques des individus.

4.1.2. Prédominance des motivations économiques

Le contrat solidaire suppose que les décisions de l'individu sont motivées par des considérations à la fois économiques et sociales. Il fait l'hypothèse que l'individu a des préférences sociales qui le

poussent à adopter des comportements pro-sociaux et pro-environnementaux, parfois au détriment de son profit individuel. Le contrat exploite ces deux sources de motivations en couplant des incitations monétaires et des mécanismes sociaux (solidarité, réciprocité, contrôle mutuel, pression sociale, etc.),

Les ateliers tendent à confirmer l'hypothèse selon laquelle des mécanismes sociaux sont à l'œuvre dans les processus de décision des agriculteurs. Par exemple, l'idéal de gestion collective motivé par la solidarité et l'engagement mutuel fait consensus parmi les acteurs locaux. Ceux-ci confirment aussi qu'un contrôle mutuel et qu'une pression sociale existent entre les irrigants et qu'ils pourront favoriser le respect des allocations.

Cependant, les ateliers montrent que les considérations économiques restent prédominantes dans le processus décisionnel de l'agriculteur : la recherche de l'intérêt personnel domine les préférences sociales. Les participants craignent par exemple que la prévalence des comportements individualistes limite le nombre de contrats. De même, face au dilemme de l'action collective (respecter ou non ses engagements dans le contrat), certains irrigants choisiront le free-riding. L'efficacité de l'auto-régulation et de l'auto-contrôle sera fortement altérée dans des conditions extrêmes (comme une sécheresse) dans lesquelles le gain économique marginal perçu en dépassant son allocation pour satisfaire le besoin de ses cultures sera supérieur au coût social subi par l'irrigant en dépassant son allocation.

Ainsi, l'hypothèse selon laquelle la rationalité de l'individu englobe à la fois des motivations individuelles et sociales peut être affinée en pondérant ces deux paramètres, en particulier en attribuant un poids plus fort aux considérations économiques. Cette nouvelle hypothèse de rationalité de l'individu vient modifier l'élaboration des politiques publiques, qui doivent donc être conçues de façon à exploiter à la fois les motivations économiques et les préférences sociales de l'individu, en misant davantage sur les premières.

CONCLUSION PARTIELLE

Ce chapitre a présenté les résultats de l'évaluation des instruments de régulation par une méthode participative reposant sur des scénarios prospectifs à l'horizon 2020-2030, visant à juger de leur efficacité, de leur acceptabilité et de leur faisabilité.

Il en ressort que le bonus-malus n'aurait qu'un pouvoir incitatif réduit sur les pratiques agricoles, ce qui limiterait son efficacité. Mais cet instrument est principalement rejeté sur des bases éthiques, les participants considérant le recours à des mécanismes financiers comme inapproprié dans la gestion d'une ressource naturelle.

A l'inverse, les fondements éthiques du contrat solidaire (dialogue, solidarité, confiance, etc.) semblent partagés par l'ensemble des participants. Cependant, l'individualisme existant au sein du monde agricole limitera son utilisation et son impact sur la conservation de la ressource.

Cette démarche par la participation nous a également permis de mettre en évidence les facteurs contextuels qui favoriseraient ou limiteraient la réussite des instruments : conditions naturelles (climat, nappe, etc.), agronomiques (cultures, sols, etc.), économiques (économie locale, filières aval), sociales (tension entre irrigants, individualisme, etc.).

Enfin, le processus de décision de l'agriculteur est plus complexe que la simple maximisation du profit. La rationalité de l'individu tient compte à la fois des motivations économiques et des préférences sociales : les premières sont prédominantes mais n'agissent pas seules.

Toutefois, la recherche participative ne permet pas de tester les instruments. En effet, nous sommes confrontés à différents risques et biais inhérents à la méthode participative (risque de manipulation, biais hypothétique, biais stratégique, biais d'affirmation,...). Cela nous a incités à compléter cette approche qualitative par une méthode d'évaluation quantitative, et à tester l'efficacité de nos instruments par des expériences économiques.

CHAPITRE 4

Evaluation des instruments par l'économie expérimentale

Afin de compléter l'évaluation participative des instruments de régulation présentés dans le Chapitre 1, nous avons conduit des expériences permettant de simuler et tester les instruments, et d'en mesurer l'efficacité. Cinq sessions expérimentales ont été réalisées avec des sujets dits « standards » (principalement des étudiants), et sept avec une cinquantaine d'acteurs locaux de nos terrains d'étude.

L'objectif principal de ces expériences est de mesurer les effets de chaque instrument sur les comportements des préleveurs et de les comparer à des prédictions théoriques préalablement établies. Nous chercherons également à mettre en évidence et à expliquer de potentiels comportements « déviants » par rapport à la prédiction théorique, ainsi qu'à identifier des effets de contexte local se manifestant par des différences de comportement entre sujets de terrains d'étude différents.

Ce chapitre débute par la présentation du jeu d'extraction élaboré pour l'expérience ainsi que des trois successivement appliqués. La seconde partie établit les prédictions théoriques auxquelles seront confrontées les observations. En troisième lieu, sont présentés le protocole expérimental et l'organisation des sessions. La quatrième partie fait état des principaux résultats issus de l'expérience, par traitement d'abord, puis propose une comparaison des instruments à l'aide de trois indicateurs de performance. La cinquième et dernière partie discute les résultats au regard des objectifs fixés au départ.

1. Le jeu : extraction d'une ressource commune par des préleveurs hétérogènes et instrument de régulation

Cette partie présente le cadre général du jeu : caractéristiques et rôles des joueurs, description de la décision à prendre, forme de la courbe de gain, etc. Les trois traitements réalisés sont successivement présentés : un traitement de contrôle puis deux traitements correspondant aux deux instruments. Les valeurs numériques des paramètres du jeu, qui détermineront les prédictions théoriques, sont résumées dans une dernière sous-partie.

1.1. Cadre général

Le jeu place explicitement le sujet dans la situation d'un agriculteur devant prélever dans une ressource commune en eau souterraine pour irriguer et générer un revenu.

Le jeu présenté ci-dessous a été construit pour reproduire la réalité de façon schématique et stylisée, comme un compromis entre la volonté de représenter la réalité et la nécessité d'un contrôle élevé des paramètres expérimentaux (augmentant la robustesse des résultats).

1.1.1. Ressource et volume prélevable total

La ressource commune représentée dans le jeu est explicitement décrite comme un réservoir d'eau souterraine, caractérisé par les hypothèses suivantes :

- Sa recharge est annuelle et non dynamique : le réservoir est plein au début de l'année n , indépendamment des prélèvements de l'année $n-1$;
- Elle est caractérisée par un niveau annuel d'extraction durable $V_{p,TOT}$. C'est le volume maximal que l'aquifère peut fournir sans dommage sur les écosystèmes associés (zones humides, cours d'eau réalimentés par les nappes). C'est donc le « volume total prélevable » que l'ensemble des usagers est autorisé à extraire de la nappe.
- Si la somme des prélèvements individuels $V_{p,i}$ dépasse le niveau annuel d'extraction durable $V_{p,TOT}$, la recharge de l'aquifère et la capacité de pompage des agriculteurs ne sont pas affectées (pas d'externalité de pompage) : $V_{p,TOT}$ ne constitue pas une limite physique directe au prélèvement. Les coûts de dégradation des milieux aquatiques et écosystèmes associés à la nappe ne sont pas pris en compte dans le jeu. Cette hypothèse reflète la réalité observée sur les terrains étudiés, où l'exploitation

des nappes n'a pas impact sur le prélèvement (pas de tarissement des puits) mais plutôt des impacts environnementaux sur les milieux associés (assèchement des cours d'eau, tarissement de sources,...).

1.1.2. Hétérogénéité des agriculteurs

Le jeu est élaboré comme un jeu d'extraction d'une ressource commune, dans lequel des agriculteurs doivent choisir un volume à prélever dans la ressource pour irriguer leurs cultures et générer un revenu. Chaque agriculteur est doté d'un volume prélevable (autorisation) $V_{p,i}$ (en unités d'eau) tel que $\sum_i V_{p,i} = V_{p,TOT}$, et qui correspond à un volume prélevable individuel garantissant une exploitation durable de la nappe et qui maximise le bien-être économique (lorsque sont pris en compte les autres usages et les services écosystémiques, non représentés dans le jeu). Les agriculteurs ont la capacité technique de prélever plus que leur prélèvement autorisé $V_{p,i}$, jusqu'à une capacité maximale de pompage Cap_{max} .

L'hétérogénéité des exploitations agricoles est représentée dans le jeu par la coexistence de deux types d'agriculteurs : les agriculteurs A, céréaliers et les agriculteurs B, spécialisés dans une culture à haute valeur ajoutée (fruits, légumes, semences,...). Chaque type d'agriculteur est doté d'un volume prélevable spécifique ($V_{p,A}$ ou $V_{p,B}$) qui garantit une exploitation durable de la nappe. Le jeu se joue par groupe de trois agriculteurs : deux agriculteurs A et un agriculteur B⁹ (Figure 4 - 6).

$$2V_{p,A} + V_{p,B} = V_{p,TOT} \quad (1.30)$$

Les profits des deux types d'agriculteur sont des fonctions quadratiques de l'apport en eau et ont la forme présentée sur la Figure 4 - 1. La courbe de profit de l'agriculteur A reflète la réponse du rendement des céréales à l'apport en eau par l'irrigation. Pour l'agriculteur B, la courbe prend également en compte l'impact de l'irrigation sur la qualité du produit (calibre, forme, teneur en sucre,...). En cas d'irrigation trop faible, le produit n'a pas la qualité requise pour pouvoir être commercialisé, ce qui génère un profit négatif. Au-delà de ce seuil, la qualité est suffisante et le rendement augmente avec l'apport en eau¹⁰. Pour les deux types de cultures, au-delà d'un apport en

⁹ Ce ratio vise à représenter la réalité dans laquelle le nombre d'exploitations non spécialisées est supérieur au nombre d'exploitations en culture spécialisée (voir Annexe IV sur la construction courbes de profit).

¹⁰ Pour plus de détails sur la construction des courbes de profit, voir l'Annexe IV.

eau optimal P_i^* , le profit décroît car le rendement de la culture stagne (et les coûts augmentent), voire diminue du fait d'impacts négatifs de l'eau sur la plante (asphyxie, développement de maladie, etc.). Enfin, le volume prélevable autorisé $V_{p,i}$ est contraignant : il ne permet pas d'atteindre le profit maximal ($V_{p,i} < P_i^*$) (Figure 4 - 1).

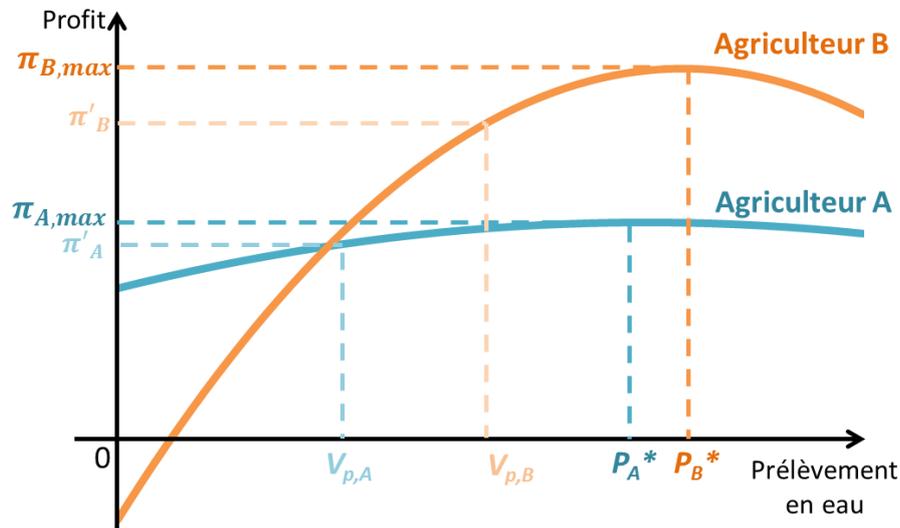


Figure 4 - 1 : Courbes de profit des deux types d'agriculteurs (année climatique moyenne)

Par ailleurs, nous faisons l'hypothèse que l'information est complète : chaque agriculteur connaît la fonction de profit des deux autres. Cette hypothèse est crédible dans le secteur agricole : grâce aux informations technico-économiques des conseillers agricoles et à la diversification des exploitations, les agriculteurs ont connaissance des marges brutes de différentes activités agricoles.

1.1.3. Incertitude climatique

La variabilité climatique est source d'incertitude pour les agriculteurs, les besoins en eau des cultures et les rendements associés dépendant des précipitations. Afin de représenter cette incertitude, le jeu intègre une variable climatique : le climat de l'année peut être sec, moyen ou humide. Par hypothèse, ces différents états climatiques ont la même probabilité d'occurrence dans le jeu (1/3).

La variabilité climatique induit une variabilité du rendement et donc du profit. Ainsi, pour un même prélèvement en eau, le profit en année sèche sera plus faible qu'en année moyenne, lui-même plus faible qu'en année humide. Formulé autrement, pour obtenir le même profit, il faudra davantage prélever en année sèche qu'en année moyenne et davantage en année moyenne qu'en année humide.

Ceci est illustré par la Figure 4 - 2 : pour obtenir le profit π_{max} , il faut prélever P_H^* en année humide, P_M^* en année moyenne et P_S^* en année sèche, tels que $P_H^* < P_M^* < P_S^*$.

Ainsi, le profit de l'agriculteur est une fonction quadratique de son prélèvement en eau P_i , qui prend aussi en compte l'hétérogénéité des agriculteurs et la variabilité du climat :

$$\pi_i = f(C, c_i, P_i) \quad (1.31)$$

Avec π_i le profit de l'agriculteur i , C le climat, c_i la culture cultivée par l'agriculteur i (céréales pour l'agriculteur A, culture spéciale pour le B) et P_i son prélèvement.

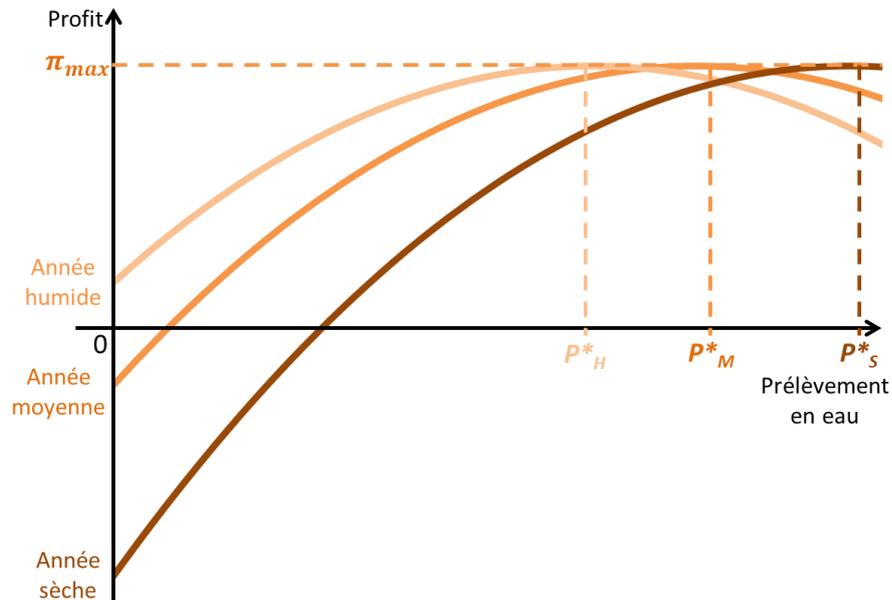


Figure 4 - 2 : Courbes de profit de l'agriculteur B pour 3 années climatiques différentes. Le même graphique peut être obtenu avec la fonction de profit de l'agriculteur A.

1.1.4. Processus de décision

Pour représenter cette situation d'incertitude, la prise de décision se fait en deux étapes (Figure 4 - 3) :

1. D'abord, le sujet ne connaît pas le climat de l'année à venir et choisit une intention de prélèvement Int_i , comprise entre 0 et sa capacité maximale de prélèvement Cap_{max} . Dans la réalité, ceci correspond à la phase de décision située en amont de la saison d'irrigation, lors de laquelle l'agriculteur choisit son assolement, c'est-à-dire la surface allouée à chaque culture et donc les surfaces qu'il prévoit d'irriguer. Ce faisant, l'agriculteur cible un objectif de rendement et le profit

associé, raisonnant en fonction d'une espérance d'apport en eau naturel (climat) et d'une intention de volume d'eau à prélever dans la nappe.

2. Puis le sujet est informé du climat de l'année et choisit un prélèvement définitif. Ainsi, si l'année s'avère sèche, l'agriculteur pourra vouloir prélever plus que prévu pour obtenir le profit initialement visé, ou bien maintenir le niveau de prélèvement initialement envisagé et accepter un profit plus faible. Cependant, dans la réalité, l'agriculteur ne peut pas opérer des changements trop importants en milieu de saison (la surface étant plantée, les intrants achetés, le matériel d'irrigation installé, etc.), mais seulement procéder à des ajustements (sur la surface irriguée, le niveau d'irrigation, ...). Pour refléter l'irréversibilité partielle des choix opérés en début de saison, le choix du prélèvement définitif dans le jeu est contraint par l'intention de prélèvement donnée dans la première étape (bornes basse P_{min} et haute P_{max} , voir Figure 4 - 3).

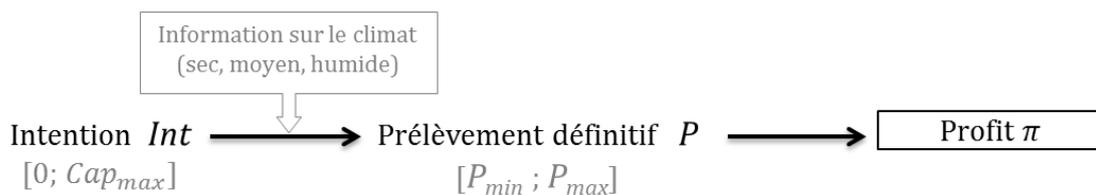


Figure 4 - 3 : Déroulement d'une période de jeu

1.2. Instruments de régulation et traitements

L'expérience comporte trois traitements successifs : un traitement de contrôle et deux traitements correspondant aux deux instruments de régulation à tester.

1.2.1. Traitement de contrôle (T0)

Le premier traitement constitue le traitement de contrôle (T0), dans lequel aucun mécanisme de régulation n'est appliqué. Les sujets sont informés du volume qui leur est autorisé de prélever et qui, s'il n'est pas dépassé, permet une exploitation durable de la nappe. Mais aucun instrument de régulation ne les incite à le respecter.

1.2.2. Bonus-Malus (T1)

Dans le deuxième traitement (T1), les agriculteurs qui prélèvent au-delà de leur volume autorisé $V_{p,i}$ doivent payer le dépassement, proportionnellement au nombre d'unités d'eau prélevées en excès (d'un montant m , en écus par unité d'eau). Ce montant est soustrait de leur profit. La recette de ces

paiements constitue une « cagnotte » M , collectée par le régulateur et intégralement redistribuée aux agriculteurs qui ont prélevé moins que leur volume autorisé. La part de la « cagnotte » M perçue par ces agriculteurs est proportionnelle à leur effort d'économie (c'est-à-dire au volume économisé individuellement par rapport au volume économisé au total). Ce montant est ajouté à leur profit. Ce traitement crée donc une interdépendance entre les joueurs, puisque le montant reçu par les agriculteurs qui choisissent d'économiser dépend directement des décisions prises par les autres agriculteurs du groupe. La fonction de profit devient donc :

$$\pi_i = f(C, c_i, P_i, P_{-i}) \quad (1.32)$$

avec P_{-i} les prélèvements des autres agriculteurs.

1.2.3. Contrat solidaire (T2)

Dans le troisième traitement, les autorisations individuelles de prélèvement sont regroupées dans une autorisation collective, dont les agriculteurs deviennent conjointement responsables. Cette situation est formalisée par un contrat, dont les caractéristiques sont :

- Des profits plus élevés qu'en individuel : $\pi_{i,Contrat} = \pi_{i,T0} + B_i$. L'augmentation de profit B_i représente les bénéfices induits par l'appartenance à un contrat, qui peuvent être économiques (issus d'une incitation financière mise en place par le régulateur pour inciter les agriculteurs à signer un contrat) ou sociaux (en lien avec la dimension collective du contrat) (Figure 4 - 4).

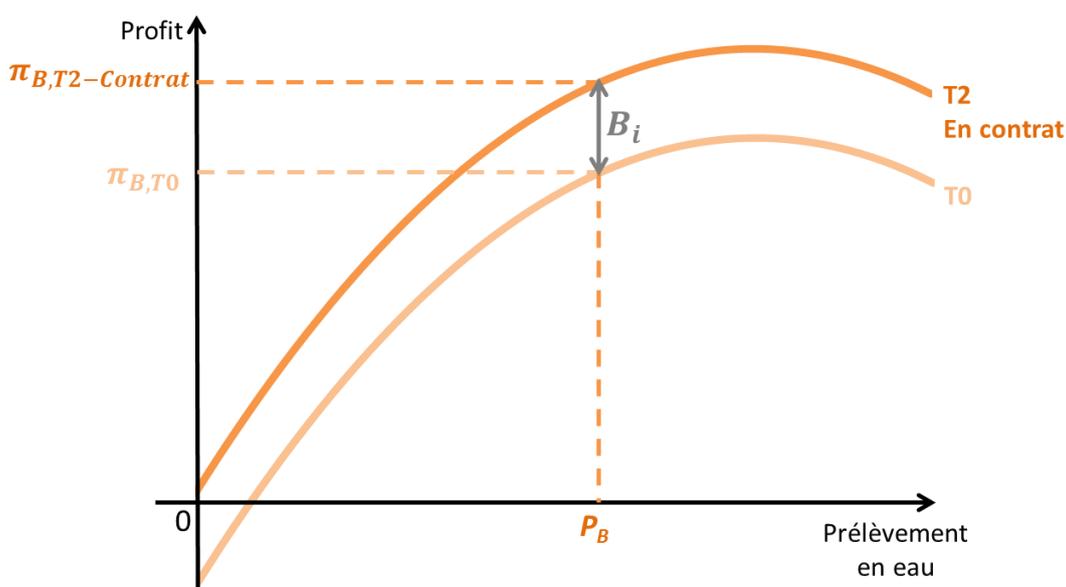


Figure 4 - 4 : Courbes de profit de l'agriculteur B dans le contrat (T2 – En contrat) et hors contrat (équivalente à la courbe en T0)
Le même graphique peut être obtenu avec la fonction de profit de l'agriculteur A.

- Un regroupement des autorisations individuelles en une autorisation collective $V_{p,TOT} = 2V_{p,A} + V_{p,B}$;
- Une sanction collective si le volume total prélevé par les trois agriculteurs dépasse l'autorisation collective. Chaque agriculteur, quel que soit son prélèvement individuel, paie la totalité du dépassement du groupe, proportionnellement au nombre d'unités prélevées en excès (d'un montant m en écus par unité d'eau) ;
- Une transparence des prélèvements : les intentions de prélèvement en début de saison et les prélèvements définitifs en milieu de saison sont dévoilés à tous les agriculteurs du groupe ;
- La possibilité de sortir du contrat. Si au moins un des agriculteurs souhaite sortir du contrat, celui-ci est rompu pour tous et les trois agriculteurs continuent le jeu en individuel, avec pour seule contrainte de respecter leur volume autorisé individuel et, en cas de dépassement, l'imposition d'une sanction proportionnelle m' .

Dans l'expérience, le traitement est joué en 2 parties : dans la première, les agriculteurs sont liés dans un contrat dont ils ne peuvent pas sortir ; dans la seconde, ils ont la possibilité de maintenir ou de rompre le contrat. Dans cette seconde partie, tant que le contrat est maintenu, la possibilité d'en sortir leur est donnée au début de chaque nouvelle période. En revanche, un contrat rompu l'est de manière définitive. Hors contrat, le jeu est similaire au traitement T0, auquel s'ajoute une pénalité individuelle en cas de dépassement.

1.3. Paramètres du jeu

Le Tableau 4 - 1 présente les paramètres fixés dans le jeu. Les agriculteurs conservent les mêmes caractéristiques (culture, volume autorisé, capacité technique de prélèvement,...) pendant toute l'expérience, quel que soit le traitement. Les agriculteurs A et B ont la même capacité technique de prélèvement Cap_{max} (liée au matériel d'irrigation) mais un volume autorisé différent, estimé en fonction des besoins des cultures : l'agriculteur A dispose d'une autorisation de 8 unités d'eau pour ses céréales et l'agriculteur B de 12 unités d'eau pour ses cultures spécialisées. Ces volumes sont contraignants : ils ne permettent pas de maximiser les profits.

Tableau 4 - 1: Paramètres du jeu

Paramètres	Traitement		T0	T1	T2	
Niveau annuel d'extraction durable $V_{p,TOT}$ (unités d'eau)			28			
Volume autorisé agriculteur A $V_{p,A}$ (unités d'eau)			8			
Volume autorisé agriculteur B $V_{p,B}$ (unités d'eau)			12			
Capacité maximale de pompage $Cap_{max,A}$ (unités d'eau)			27			
Capacité maximale de pompage $Cap_{max,B}$ (unités d'eau)			27			
Montant du paiement pour dépassement m ou s (écus/unité d'eau)	-	10	En contrat		En individuel	
			20		10	
Nombre de périodes de jeu	9	9	1 ^{ère} partie (contrat forcé)		2 ^{nde} partie	
			9		3	

Au premier temps de la décision, le joueur choisit une intention de prélèvement comprise entre 0 et sa capacité maximale de prélèvement ($Cap_{max} = 27$). Une fois informé du climat, il choisit un prélèvement définitif dans une fourchette de prélèvement qui dépend de son intention : la moitié de l'intention comme borne inférieure ($P_{min} = Int/2$) et son intention augmentée de 5 unités en borne supérieure ($P_{max} = Int + 5$).

Les fonctions de profits utilisées dans le jeu ont été construites à partir de données réelles de rendement en fonction de l'apport en eau, pour le maïs (agriculteur A) et la pomme (agriculteur B). Leur construction et les hypothèses associées sont détaillées dans l'Annexe IV et les tables sont disponibles dans l'Annexe V. Les courbes correspondantes sont représentées sur la Figure 4 - 5. Dans le traitement T2, les profits en contrat sont augmentés d'un paramètre B_i , qui s'élève à 120 écus pour l'agriculteur B et 13 écus pour l'agriculteur A. Pour chaque traitement, les sujets disposent des tables de profits des deux types d'agriculteurs, leur permettant de connaître le profit de chacun pour chaque niveau de prélèvement en eau compris entre 0 et 27 unités.

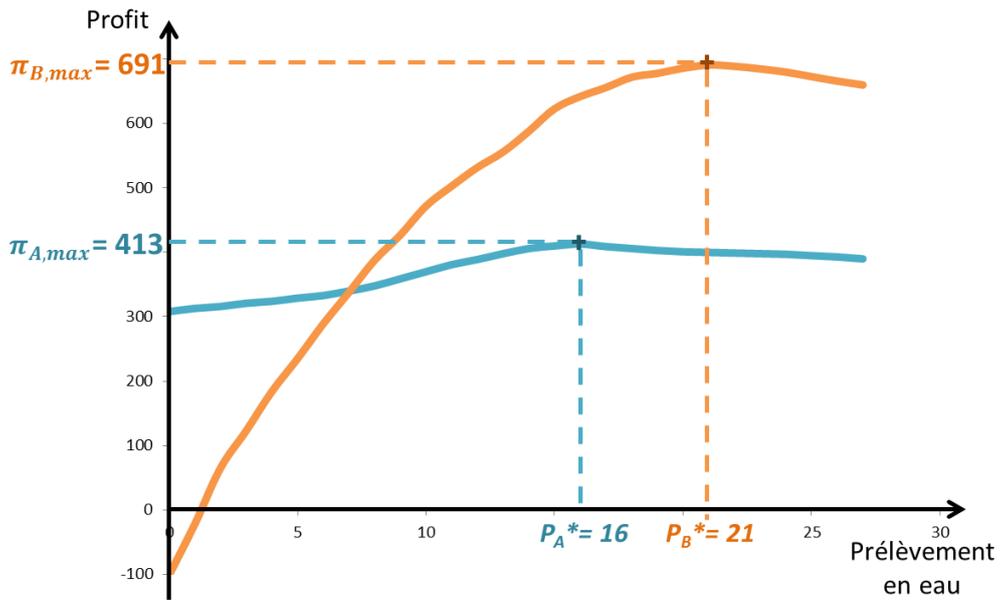


Figure 4 - 5 : Fonctions de profit utilisées dans le jeu (année moyenne)

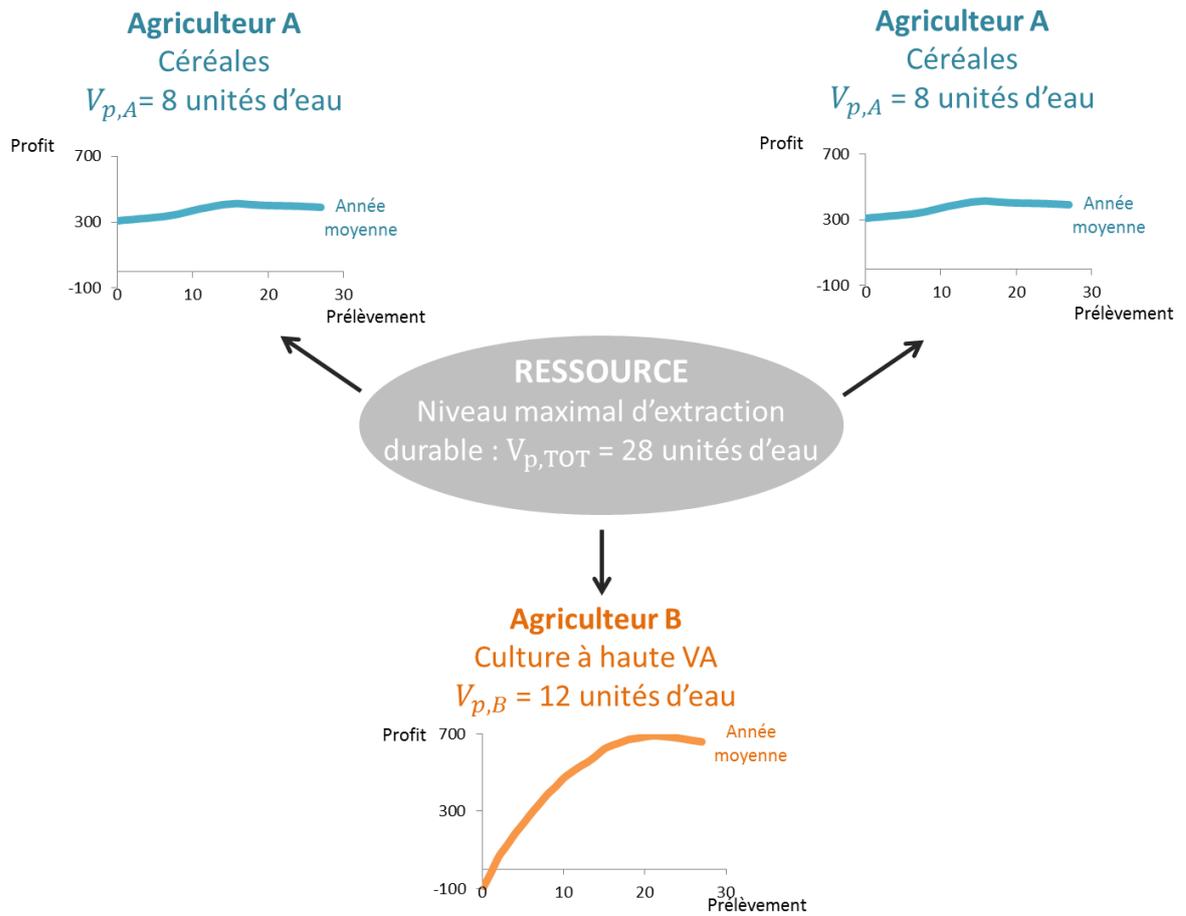


Figure 4 - 6 : Situation ressource-préleveurs

2. Prédictions théoriques

Dans cette partie nous estimons les valeurs théoriques des prélèvements pour les deux types de joueurs, en supposant qu'ils sont rationnels et chercheront à maximiser leur profit. Nous proposons aussi des indicateurs afin de mesurer et comparer la performance des instruments.

L'ensemble des prédictions est basé sur l'hypothèse de rationalité des individus qui implique les sujets vont choisir le prélèvement qui maximise leur profit.

2.1. Traitement de contrôle (T0)

Les volumes prélevables $V_{p,i}$ étant contraignants, nous nous attendons à ce que, en l'absence d'instrument de régulation, les prélèvements dépassent les autorisations, tant au niveau individuel qu'au niveau global et quel que soit le climat. Le Tableau 4 - 2 rapporte les volumes correspondants par type d'agriculteur et par année.

Tableau 4 - 2 : Prédictions théoriques du couple (prélèvement ; gain espéré) - Traitement de contrôle T0

$(P_i^* ; \pi_i^*)$	Année sèche	Année moyenne	Année humide	Volume autorisé
Agriculteur A	21 ; 413	16 ; 413	11 ; 413	8
Agriculteur B	26 ; 691	21 ; 691	16 ; 691	12
Total (2A+B)	68 ; 1517	53 ; 1517	38 ; 1517	28

2.2. Bonus-malus (T1)

Dans le traitement T1, les joueurs ont le choix entre payer pour dépasser leur volume autorisé et être payés pour avoir économisé de l'eau. Les prédictions théoriques diffèrent selon le type de joueur. Nous présentons ici le raisonnement en année moyenne pour chacun des types, avant de résumer l'ensemble de prédictions théoriques en T1 dans le Tableau 4 - 4, le raisonnement étant le même pour chaque état du climat.

- L'agriculteur B maximise son profit en dépassant son volume autorisé : il choisira de prélever 18 unités d'eau, de payer 60 écus pour son dépassement de 6 unités et gagnera ainsi 612 écus. En effet, cette décision est celle qui maximise son profit parmi les deux stratégies suivantes :
 - S'il choisit d'économiser de l'eau, par exemple en passant d'un prélèvement de 12 à 11 unités (Figure 4 - 7: passage du point X au point Y), l'agriculteur B subit une perte de 29

écus. En retour, il récupère tout ou partie des pénalités payées par les autres joueurs. Etant donnée la fonction de profit des agriculteurs A, le montant maximal qu'il peut espérer recevoir s'élève à 60 écus (dans le cas où les 2 agriculteurs A maximisent leur profit en stratégie de dépassement en prélevant 11 unités et en payant 30 écus chacun). Le profit maximal qu'il peut retirer de cette stratégie est donc de 563 écus.

- S'il choisit de dépasser son prélèvement autorisé, le joueur B choisit de prélever 18 unités d'eau (Figure 4 - 7: point Z). En effet, en tenant compte de la pénalité de 10 écus par unité d'eau, il maximise son profit (612 écus).

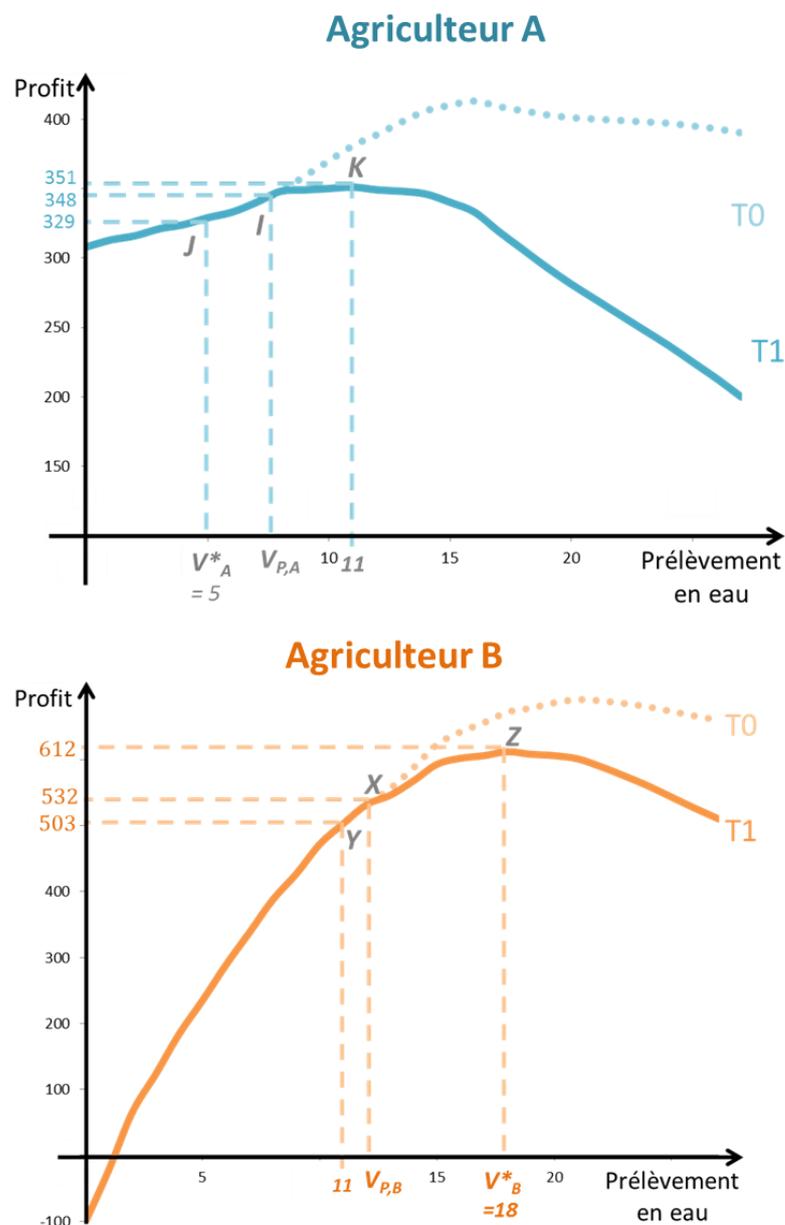


Figure 4 - 7 : Courbes de profit dans le traitement T1 (Bonus-Malus) en année climatique moyenne. Au-delà du volume autorisé, la courbe de profit décroît plus vite que dans le traitement de contrôle T0 car chaque unité coûte 10 écus.

- Les agriculteurs A choisiront de prélever 5 unités d'eau, donc d'économiser 3 unités avec une espérance de profit de 359 écus, car :
 - S'ils choisissent de dépasser, les agriculteurs A prélèveront 11 unités d'eau afin de maximiser leurs profits et gagner 351 écus (Figure 4 - 7 : point K).
 - Anticipant la stratégie de B, les agriculteurs A peuvent estimer le montant de la cagnotte (60 écus). Cependant, la répartition de la cagnotte entre eux est incertaine : elle correspond à la répartition de l'effort d'économie entre les 2 agriculteurs. Le profit de l'agriculteur A1 s'écrit alors :

$$\pi_{A1,T1}(P_{A1}) = \pi_{A1,T0}(P_{A1}) + \frac{e_{A1}}{e_{A1} + e_{A2}} \times M \quad (1.33)$$

Avec π_{A1} le profit de l'agriculteur A1, P_{A1} le prélèvement de l'agriculteur A1 (inférieur au volume autorisé $V_{p,A} = 8$ unités), e_{A1} l'économie d'eau réalisée par A1 ($e_{A1} = V_{p,A} - P_{A1}$) et M la cagnotte. Pour maximiser son profit, l'agriculteur A1 doit maximiser la part qu'il reçoit de la cagnotte ($\frac{e_{A1}}{e_{A1}+e_{A2}} \times M$). Il faut donc que $e_{A1} > e_{A2}$, c'est-à-dire qu'il économise plus que son collègue. Par exemple, si A1 économise 1 unité, A2 a tout intérêt à économiser 2 unités pour récupérer une plus grande part de la cagnotte (2/3 contre 1/3). En absence de communication entre les agriculteurs A (jeu non coopératif), cette compétition incite les agriculteurs A à économiser de l'eau jusqu'au maximum économiquement intéressant.

Ces gains sont reportés dans la matrice présentée dans le Tableau 4 - 3. La stratégie dominante du joueur A1 est de prélever 5 unités d'eau : c'est la stratégie qui maximise son profit quel que soit la stratégie du joueur A2. Par symétrie, la stratégie dominante du joueur A2 est aussi de prélever 5 unités. L'équilibre de Nash en jeu non coopératif correspond donc au couple de prélèvements $(P_{A1}; P_{A2}) = (5; 5)$ pour des profits $(\pi_{A1}; \pi_{A2}) = (359; 359)$ (Figure 4 - 7: point J). Cet équilibre génère un profit total de 718 écus, ce qui est sous-optimal : si les joueurs coopéraient, ils choisiraient de

n'économiser qu'une seule unité d'eau chacun et de gagner le couple de profits (368; 368), pour un profit total optimal de 736 écus (optimum de Pareto).

Tableau 4 - 3 : Matrice des gains des joueurs A en fonction des volumes prélevés P_{A1} et P_{A2}
Année climatique moyenne ; cagnotte = 60 écus ; Les cases bleutées correspondent à la stratégie dominante des joueurs.

$P_{A2} \backslash P_{A1}$	0		1		2		3		4		5		6		7	
	π_{A1}	π_{A2}														
0	338	338	340	341	342	342	345	344	348	344	352	345	356	345	361	345
1	341	340	343	343	345	344	348	346	351	346	355	347	360	346	366	346
2	342	342	344	345	346	346	349	348	352	348	356	349	361	348	367	347
3	344	345	346	348	348	349	351	351	354	351	359	352	364	350	371	348
4	344	348	346	351	348	352	351	354	354	354	358	355	364	353	372	350
5	345	352	347	355	349	356	352	359	355	358	359	359	365	357	374	353
6	345	356	346	360	348	361	350	364	353	364	357	365	363	363	373	358
7	345	361	346	366	347	367	348	371	350	372	353	374	358	373	368	368

Le même raisonnement appliqué aux années climatiques sèche et humide nous permet de construire le Tableau 4 - 4 des prédictions théoriques dans le traitement T1 pour les deux types de joueurs.

Tableau 4 - 4 : Prédictions théoriques du couple (prélèvement ; gain) - Traitement T1 – Bonus-Malus

$(P_i^* ; \pi_i^*)$	Année sèche	Année moyenne	Année humide	Volume autorisé
Agriculteur A	3 ; 376	5 ; 359	7,5 ; 349	8
Agriculteur B	23 ; 562	18 ; 612	13 ; 662	12
Total (2A+B)	29 ; 1314	28 ; 1330	28 ; 1360	28

Ainsi, dans le traitement T1, la prédiction théorique est que les agriculteurs B dépassent leur autorisation et prélèvent un volume qu'ils ajustent au climat pour maximiser leur profit. Les agriculteurs A économisent de l'eau pour récupérer une part de la cagnotte et s'adaptent aussi au climat : plus l'année est sèche, plus ils réduisent leur prélèvement. Ainsi, les dépassements et les économies se compensent, et le volume prélevable total $V_{p,TOT}$ est respecté à chaque période quel que soit le climat¹¹.

¹¹ En année sèche, le volume total autorisé $V_{p,TOT}$ sera dépassé d'une unité. Ceci est dû à un artefact de construction du jeu : les agriculteurs A auraient intérêt à prélever 2,5 unités d'eau – ce qui permettrait de respecter la limite de 28 unités - mais le jeu n'accepte que les nombres entiers.

2.3. Contrat solidaire (T2)

Le traitement T2 se déroule en deux temps. Les agriculteurs sont d'abord obligatoirement liés par un contrat qui les rend conjointement responsables du respect du volume prélevable global (28 unités). Dans un second temps, ils ont le choix de maintenir ou de rompre le contrat ; le cas échéant, ils jouent en individuel jusqu'à la fin du jeu.

2.3.1. Première partie du jeu: en contrat obligatoire

En contrat, dans le cas où ce volume est dépassé, chacun est tenu de payer une sanction fonction du dépassement total du groupe, à hauteur de 20 écus par unité d'eau. Les agriculteurs ont donc le choix entre une stratégie de coopération consistant à respecter leur volume individuel et une stratégie de *free-riding* consistant à dépasser leur volume individuel pour maximiser leur profit.

L'agriculteur A n'a aucun intérêt à dépasser son volume autorisé, car le gain marginal du dépassement (3, 11 ou 8 écus selon les années) est plus faible que la sanction encourue (20 écus). On s'attend donc à ce que l'agriculteur A choisisse de coopérer.

Rappelons que sans dépassement global, le profit de l'agriculteur i en contrat correspond au profit dans le traitement T0 $\pi_{i,T0}$ augmenté d'un paramètre B_i représentant le bénéfice économique et social tiré du contrat.

$$\pi_{i,T2}(P_i) = \pi_{i,T0}(P_i) + B_i \quad (1.34)$$

De son côté, l'agriculteur B est incité à dépasser son volume autorisé en année moyenne et en année sèche car le gain marginal associé est supérieur à la sanction. Par exemple, en année moyenne, il peut dépasser son autorisation de 3 unités d'eau tout en augmentant son profit de 31 écus (il gagne 91 écus et en perd 60 en sanction collective, en supposant que les agriculteurs A ne dépassent ni n'économisent).

Cependant, nous supposons que l'agriculteur B anticipe le fait que son choix entre coopération et *free-riding* va influencer sur le choix des agriculteurs A de maintenir ou de rompre le contrat en 10^{ème} période. Il va donc comparer les profits des deux stratégies suivantes : (1) maximiser son profit pendant les 9 premières périodes en dépassant son autorisation et imposant une sanction collective au groupe – et donc, en supposant que les agriculteurs A rompent le contrat, jouer les 3 dernières

périodes en individuel avec des profits plus faibles et (2) respecter son autorisation pendant les 9 premières périodes, ce qui garantit le maintien du contrat pour les 3 dernières périodes, et donc des profits élevés pendant toute la durée du traitement. Son espérance de profit s'écrit :

$$\text{Stratégie (1)} \quad E_1(\pi_{B,T_2}) = \underbrace{\sum_C Pr(C) \times \pi_{B,Contrat}(C)}_{9 \text{ périodes en contrat}} + \underbrace{\sum_C Pr(C) \times \pi_{B,Hors contrat}(C)}_{3 \text{ périodes hors contrat}}$$

$$E_1(\pi_{B,T_2}) = 664 \text{ écus}$$

$$\text{Stratégie (2)} \quad E_2(\pi_{B,T_2}) = \underbrace{\sum_C Pr(C) \times \pi_{B,Contrat}(C)}_{12 \text{ périodes en contrat}}$$

$$E_2(\pi_{B,T_2}) = 629 \text{ écus}$$

Avec C le climat de l'année (sec, moyen ou humide), $Pr(C)$ sa probabilité d'occurrence (1/3), $\pi_{B,Contrat}(C)$ la fonction de profit de B en contrat et $\pi_{B,Hors contrat}(C)$ la fonction de profit de B hors contrat.

La stratégie de *free-riding* génère, pour l'agriculteur B, une espérance de profit de 664 écus contre 629 en coopérant. La prédiction théorique est donc qu'il choisira de ne pas coopérer et de maximiser son profit à chaque période (Tableau 4 - 5).

Tableau 4 - 5 : Prédictions théoriques du couple (prélèvement ; gain) pour l'agriculteur B - Traitement T2 – Contrat solidaire

$(P_i^* ; \pi_i^*)$	Année sèche	Année moyenne	Année humide	Volume autorisé
Agriculteur B	20 ; 743	15 ; 743	12 ; 776	12

Connaissant la fonction de profit de l'agriculteur B, les agriculteurs A anticipent son dépassement et la sanction collective associée (hypothèses d'information complète et de capacité de calcul haute des agents économiques). Les agriculteurs ont alors le choix entre : (i) réduire leur prélèvement en-deçà du volume autorisé pour limiter la sanction mais en réduisant dans le même temps leur profit et

(ii) maintenir leur prélèvement au niveau de leur autorisation et payer la sanction déclenchée par l'agriculteur B. Lorsque une sanction collective (S) est appliquée, le profit de l'agriculteur A1 devient :

$$\pi_{A1,T2}^S(P_{A1}) = \pi_{A1,T2}(P_{A1}) - s \times (P_{2A+B} - V_{p,TOT}) \quad (1.37)$$

Avec π_{A1} le profit de l'agriculteur A, P_{A1} le prélèvement de l'agriculteur A1, s le montant de la sanction collective (20 écus par unité d'eau), P_{2A+B} ($P_{2A+B} = P_{A1} + P_{A2} + P_B$) le prélèvement total du groupe et $V_{p,TOT}$ le volume prélevable du groupe.

Le Tableau 4 - 6 rapporte la matrice des gains des agriculteurs A en année moyenne et nous permet de conclure à l'absence de stratégie dominante et à l'existence de quatre équilibres de Nash. Considérant que les quatre stratégies sont équiprobables, la prédiction théorique du prélèvement des agriculteurs A correspond à l'espérance de prélèvement, soit 6,5 unités d'eau, pour une espérance de profit de 350,5 écus.

Tableau 4 - 6 : Matrice des profits des agriculteurs A en année moyenne. En supposant que l'agriculteur B dépasse son autorisation de 3 unités. Les stratégies dominées, pour des prélèvements inférieurs à 5 unités d'eau, ne sont pas représentées.

		Agriculteur A2			
		8	7	6	5
Agriculteur A1	8	$\pi_{A1}; \pi_{A2}$ 301 ; 301	$\pi_{A1}; \pi_{A2}$ 321 ; 313	$\pi_{A1}; \pi_{A2}$ 341 ; 326	$\pi_{A1}; \pi_{A2}$ 361 ; 342
	7	313 ; 321	333 ; 333	353 ; 346	353 ; 342
	6	326 ; 341	346 ; 353	346 ; 346	346 ; 342
	5	342 ; 361	342 ; 353	342 ; 346	342 ; 342

Le même raisonnement est appliqué aux années sèche et humide et nous permet de construire le Tableau 4 - 7 des prédictions théoriques.

Tableau 4 - 7 : Prédictions théoriques du couple (prélèvement ; gain) dans le traitement T2 – En contrat

$(P_i^* ; \pi_i^*)$	CONTRAT			Volume autorisé
	Année sèche	Année moyenne	Année humide	
Agriculteur A	4 ; 316	6,5 ; 349,5	8 ; 411	8
Agriculteur B	20 ; 743	15 ; 743	12 ; 776	12
Total (2A+B)	28 ; 1375	28 ; 1442	28 ; 1598	28

2.3.2. Seconde partie : vote et jeu hors contrat

Les agriculteurs B ayant choisi de ne pas coopérer et ayant déclenché des sanctions collectives 6 fois sur les 9 périodes du contrat obligatoire (années sèches et moyennes), nous nous attendons à ce que les agriculteurs A choisissent de rompre le contrat au début de la 10^{ème} période. Les 3 dernières périodes de jeu se jouent donc hors contrat. Les agriculteurs maximisent leur profit en dépassant leur autorisation, tout en prenant en compte la pénalité de 10 écus/unité d'eau. Les prédictions théoriques pour les 3 dernières périodes du contrat sont donc :

Tableau 4 - 8 : Prédictions théoriques du couple (prélèvement ; gain) dans le traitement T2 – Hors contrat

Prélèvement définitif P_i^*		HORS CONTRAT			Volume autorisé
		Année sèche	Année moyenne	Année humide	
	Agriculteur A	8 ; 321	11 ; 351	8 ; 398	8
	Agriculteur B	23 ; 562	18 ; 612	13 ; 562	12
	Total (2A+B)	39 ; 1204	40 ; 1314	29 ; 1358	28

Ainsi, dans le traitement T2, on s'attend à ce que le contrat permette de faire respecter le volume prélevable total $V_{p,TOT}$ quel que soit le climat. L'agriculteur B va maximiser son profit et dépasser son autorisation et l'agriculteur A devra s'adapter et réduire son prélèvement pour éviter de déclencher une sanction collective. Au bout des 9 périodes de contrat, les A choisiront de rompre les contrats et le jeu se terminera sur 3 périodes en individuel avec des dépassements individuels et globaux à toutes les périodes.

3. Procédure expérimentale

Nous présentons ici l'organisation des sessions expérimentales : le déroulement général, le profil des sujets, le calcul de leurs gains et l'information mise à leur disposition.

3.1. Organisation des sessions expérimentales

Nous avons conduit 12 sessions expérimentales :

- 5 sessions en laboratoire en mars 2014, avec 84 sujets dit « standards ». Elles se sont déroulées au Laboratoire d'Economie Expérimentale de Montpellier (LEEM), également chargé du recrutement des sujets ;

- 7 sessions sur le terrain, entre avril et juin 2014 avec 46 acteurs locaux de l'eau et de l'agriculture (24 agriculteurs et 22 institutionnels) (Figure 4 - 9). Les sujets ont été recrutés sur quatre des cinq terrains de l'étude, parmi les acteurs locaux ayant participé aux ateliers de prospective (Tableau 4 - 9).

Tableau 4 - 9 : Lieux, dates et caractéristiques des sujets

	Lieu	Dates (2014)	Nombre et types de sujets	Procédure de recrutement
Laboratoire	Laboratoire d'Economie Expérimentale de Montpellier (LEEM)	10 mars	12	Recrutement par le LEEM
		12 mars	18	
		12 mars	18	
		13 mars	18	
		13 mars	18	
TOTAL			84	
Terrain	Bassin de la Serre (Aisne)	8 avril	6 agriculteurs	Sujets ayant participé aux ateliers de prospective
		8 avril	6 institutionnels	
	Plaine de Valence (Drôme)	14 mai	3 agriculteurs 4 institutionnels ¹²	
		Plaine du Tarn-et-Garonne	15 mai	
	Bassin du Clain (Vienne)		26 mai	
		11 avril	6 institutionnels	
12 juin	6 agriculteurs			
TOTAL			46	

¹² En cas de nombre de sujets insuffisants, les groupes sont complétés par les expérimentateurs, qui ont joué selon les prédictions théoriques.

Ces sessions, d'une durée de 3 heures, ont été jouées sur des ordinateurs en réseau grâce à une interface développée sur Z-Tree¹³, dont l'Annexe VI montre des captures d'écran. L'expérience est conçue de façon à réaliser des comparaisons en « within », c'est-à-dire que tous les sujets jouent les trois traitements T0, T1 et T2. La Figure 4 - 8 présente le déroulement d'une session. Elle débute toujours par le traitement de contrôle T0 et est suivie par les traitements T1 et T2 dans un ordre variable selon les sessions, ceci afin de mesurer l'effet d'ordre.

¹³ Licensor : the University of Zurich, Institute for Empirical Research in Economics, Switzerland

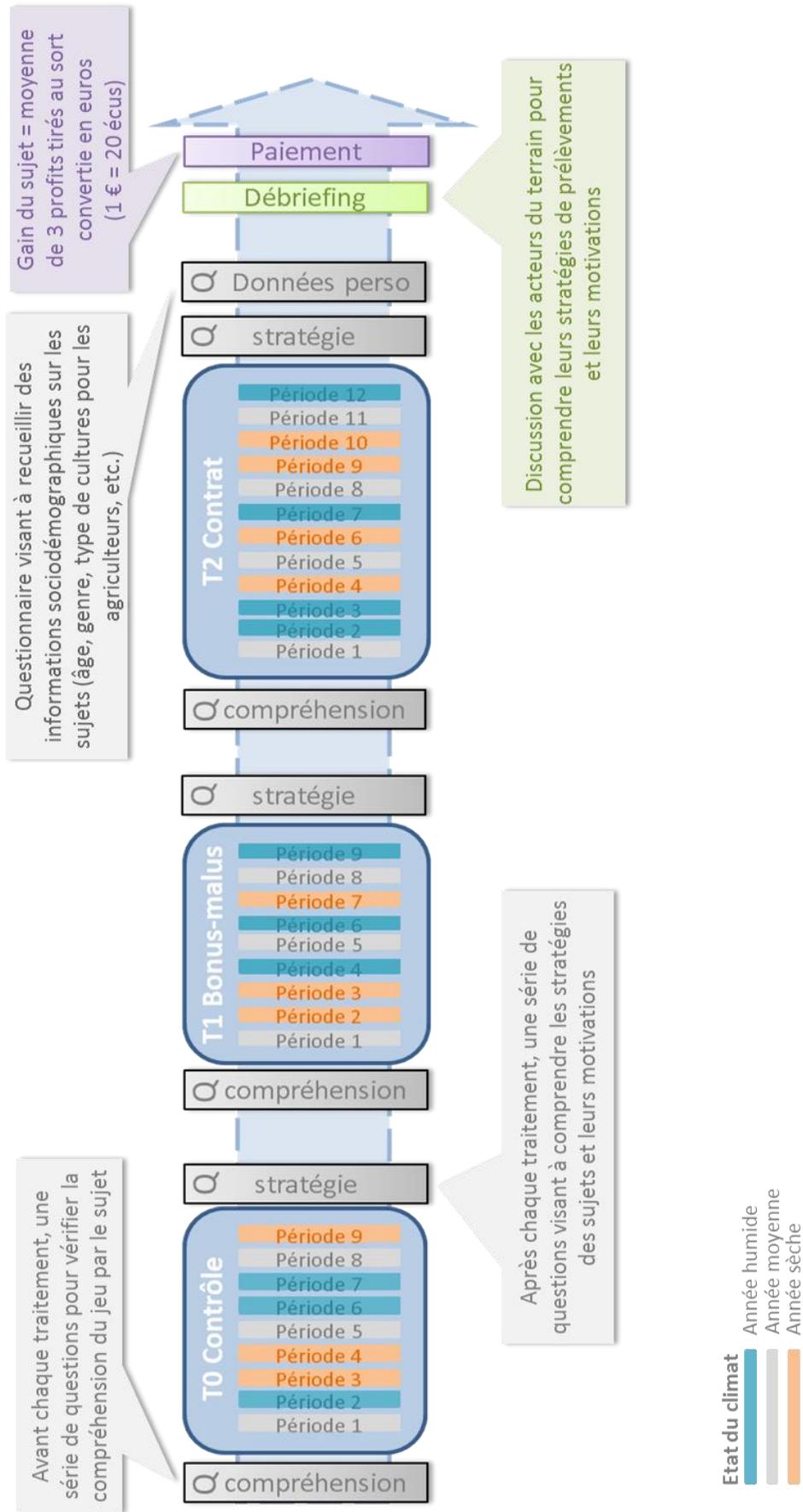


Figure 4 - 8 : Déroulement d'une session expérimentale. L'ordre des traitements T1 et T2 est inversé pour deux des cinq sessions en laboratoire.

3.2. Rôles et informations à disposition des sujets

La terminologie utilisée dans les instructions est volontairement neutre : pas de « bonus » ni de « malus » dans le traitement T1 ou de contrat « solidaire » dans le traitement T2, mais un « paiement pour dépassement, une « redistribution au prorata des unités d'eau économisées » et un « contrat ». Ce choix terminologique a été fait pour éviter que les comportements des sujets ne soient influencés par des concepts connotés positivement ou négativement.

Les séquences de climat sont tirées aléatoirement. Afin de faciliter la comparaison entre les sessions, les mêmes séquences sont utilisées dans chaque session expérimentale (voir Figure 4 - 8).

Le rôle des sujets (agriculteur A ou B) leur est attribué au début du traitement T0 et reste inchangé jusqu'à la fin de l'expérience. Les groupes de 3 sujets (2A+B) sont constitués aléatoirement à chaque début de traitement et les sujets jouent avec les mêmes partenaires pendant la durée d'un traitement. Les jeux sont anonymes et les sujets ne sont pas informés de l'identité de leurs partenaires. Il ne leur est pas possible de communiquer entre eux.

A la fin de chaque période de jeu, un bilan informe le sujet de son profit et du volume total prélevé dans la nappe P_{2A+B} . Dans le cas du traitement T1, il indique également les volumes prélevés en excès, les volumes économisés, le montant de la cagnotte et le montant reçu pour les volumes économisés (en écus/unité d'eau). Ce bilan ne donne aucune information sur les prélèvements individuels des deux autres joueurs, excepté dans le traitement T2 dans le cadre de la transparence liée au contrat.

Pendant toute la durée d'un traitement, une fenêtre en bas de l'écran rappelle au sujet l'historique de ses prélèvements et de ses profits depuis la première période du traitement. Pour les traitements T1 et T2, le sujet a également accès aux montants des sanctions et récompenses de toutes les périodes antérieures.



Session institutionnels Tarn-et-Garonne - 15/05/2014



Session agriculteurs Clain (Vienne) - 12/06/2014



Installation - Session mixte Valence (Drôme) - 14/05/2014



Débriefing - Session agriculteurs Serre (Aisne) - 08/04/2014

Figure 4 - 9 : Photographies de 4 sessions expérimentales sur le terrain

3.3. Questionnaires et débriefing

Chaque traitement débute par un questionnaire vérifiant le niveau de compréhension des règles du jeu par les sujets et se clôt par un questionnaire visant à recueillir des informations sur les stratégies des sujets et leurs motivations (Annexe VII). Un questionnaire final renseigne l'expérimentateur sur les caractéristiques sociodémographiques des sujets. Pour les sessions sur le terrain, une séance de débriefing est organisée à la fin de l'expérience, sous forme d'une discussion ouverte, avec en support les graphiques illustrant les résultats de l'expérience qui vient de se dérouler.

La rémunération des sujets est calculée à partir de la moyenne des profits de trois périodes de jeu, tirées au sort (une par traitement). Le taux de conversion est de 1 € pour 20 écus. En laboratoire, la moyenne des gains s'élève à 21,60 €, auxquels s'ajoute un forfait de 2 à 6 € pour le déplacement ; sur le terrain, la moyenne des gains est de 21,40 € auquel s'ajoute, à titre de dédommagement pour le déplacement, un repas pris ensemble à l'issue de l'expérience.

4. Résultats

4.1. Traitement de contrôle (T0)

Résultat 1. En l'absence d'instrument de régulation, les sujets choisissent un niveau de prélèvement supérieur à leur volume autorisé. Le niveau d'extraction durable de la nappe n'est donc pas respecté.

Les sujets choisissent des prélèvements individuels qui dépassent leurs volumes autorisés (Figure 4 - 10 et Tableau 4 - 12) : les joueurs de type A prélèvent entre 1,2 et 6,6 unités de plus que leur volume autorisé selon les climats ; les joueurs B dépassent de 3,5 et 6,4 unités respectivement en années moyenne et sèche mais ne s'éloignent pas significativement de leur volume autorisé en année humide. Ces dépassements récurrents nous permettent de supposer que les sujets sont rationnels.

Les prélèvements individuels agrégés par groupe (2A+B) montrent que le volume prélevable total est dépassé de 3,1 à 19,7 unités suivant les climats (Tableau 4 - 12). Ce résultat confirme qu'un accès non régulé à la nappe conduit à sa surexploitation.

Résultat 2. En année moyenne et sèche, les sujets ne maximisent pas leur profit mais choisissent un niveau de prélèvement situé entre leur volume autorisé et le volume optimal.

En années sèche et moyenne, seule une minorité de sujets adopte l'une des deux stratégies qui consisteraient à : (i) maximiser leur profit, quel que soit le climat (ils sont entre 8 et 12%) ou (ii) respecter strictement et quel que soit le climat, leur volume autorisé (ils sont entre 24 et 27%) (Tableau 4 - 10). La majorité (entre 45 et 55%) choisit plutôt un niveau de prélèvement situé entre le volume autorisé et le volume optimal prédit par la théorie. Les différences entre les prélèvements moyens observés et les prélèvements prédits s'élèvent entre 1,8 et 7,6 unités d'eau, selon le type d'agriculteur et le climat (Tableau 4 - 11). Les prélèvements observés représentent ainsi entre 70 et 84% des prélèvements théoriques attendus.

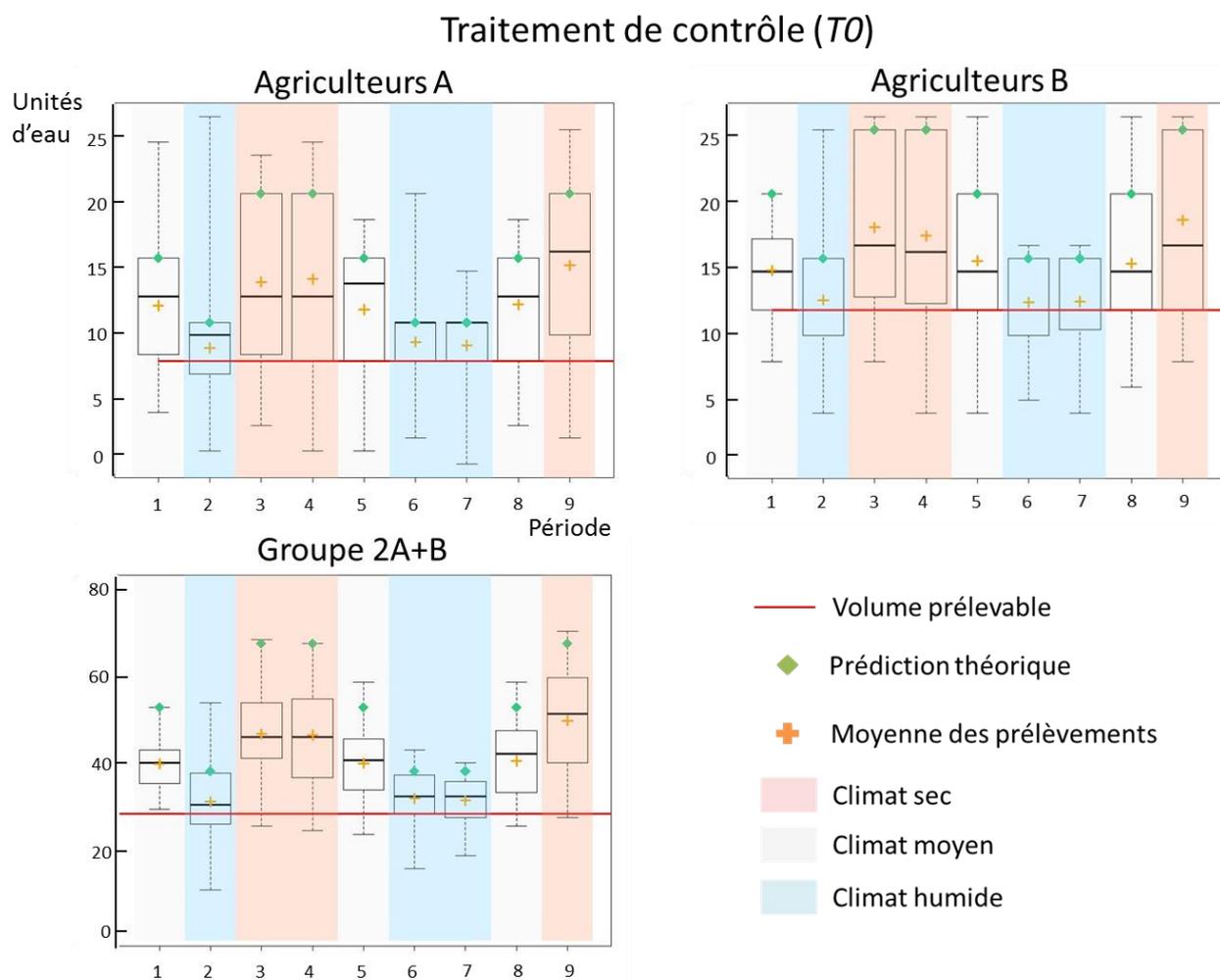


Figure 4 - 10 : Distribution des prélèvements des agriculteurs A, B et des groupes (2A+B) au cours du temps dans le traitement de contrôle (T0) – tous types sujets confondus

Ceci ne semble pas dû à une incompréhension du jeu, puisque les sujets modifient leur niveau de prélèvement en fonction des paramètres du jeu, tel que le prédit la théorie : les prélèvements en année sèche sont supérieurs aux prélèvements en année moyenne, eux-mêmes supérieurs aux prélèvements en année humide (Figure 4 - 10 et le Tableau 4 - 13). Remarquons aussi qu'ils se restreignent davantage en année sèche, où ils ne prélèvent en moyenne que 71% du volume optimal, contre 75% en année moyenne et 81% en année humide (Tableau 4 - 11).

Nous avançons deux hypothèses pour expliquer que les sujets ne prélèvent pas jusqu'au niveau optimal qui maximiserait leur profit : (1) ils sont influencés par la dimension environnementale du jeu et ressentent des scrupules à exploiter intensivement ce type de ressource (et ce d'autant plus que les

conditions environnementales sont défavorables, comme en année sèche) et (2) ils craignent l'application d'une sanction « surprise » (malgré les instructions du jeu).

Le choix de ce dépassement mesuré évoque des situations réelles où enfreindre la règle n'induit pas de pénalité sévère tant que le dépassement est limité (comme dans le cas des limitations de vitesse sur la route). L'individu a donc tendance à s'autoriser un dépassement dans la limite de ce qu'il considère être « raisonnable », sans culpabiliser ou craindre la sanction.

Les réponses aux questionnaires confirment ces hypothèses tout en apportant d'autres éléments expliquant ce comportement sous-optimal : les sujets disent s'être fixé un profit moyen à atteindre à chaque période, s'adapter aux prélèvements des autres pour ne pas dépasser le volume global ou encore compenser leur dépassement en année sèche par une économie d'eau en année humide.

Dans les débriefings, les acteurs locaux expliquent leur comportement autrement: « moi j'ai travaillé par rapport à la réalité : j'ai considéré que mon objectif c'était mon profit en année moyenne avec l'autorisation, donc je me suis adapté en années sèche et humide : c'est-à-dire qu'en année humide j'ai diminué et en année sèche j'ai monté ». Certains ont recherché un compromis entre le gain économique, la préservation de la nappe et le respect des autres (« c'est vrai que dans l'esprit des gens, maintenant, c'est admis que l'eau est un bien auquel il faut faire attention »), les amenant à dépasser leur autorisation de 2 ou 3 unités selon les années. Certains institutionnels se sont sentis contraints par leur fonction : « il y a un prédéterminisme de par notre fonction, je me suis obligée à respecter, c'est de l'autocensure ». Enfin pour certains, une autorisation est faite pour être respectée : « j'ai maximisé, mais dans la limite du quota qu'on m'avait donné ».

Tableau 4 - 10 : Choix stratégiques et proportion de sujets par stratégie dans le traitement T0

Comportement			Part des sujets			
Stratégie	Critère	Public	Tous climats	S	M	H
Respect du volume prélevable	<i>Prélèvement moyen entre $V_p - 0,5$ et $V_p + 0,5$</i>	Tous joueurs	8%	8%	12%	14%
		Standards	7%	6%	13%	17%
		Institutionnels	19%	19%	14%	14%
		Agriculteurs	4%	7%	7%	4%
Maximisation via prélèvement du volume optimal	<i>Prélèvement moyen entre $P^* - 0,5$ et $P^* + 0,5$</i>	Tous joueurs	-	27%	24%	40%
		Standards	-	26%	23%	44%
		Institutionnels	-	14%	19%	24%
		Agriculteurs	-	41%	33%	41%

Choix d'un volume intermédiaire entre volume prélevable et volume optimal	<i>Prélèvement moyen entre $V_p+0,5$ et $P^*-0,5$</i>	Tous joueurs	-	55%	45%	16%
		Standards	-	60%	43%	13%
		Institutionnels	-	48%	57%	19%
		Agriculteurs	-	44%	41%	22%
Choix d'économiser par rapport au volume prélevable	<i>Prélèvement moyen inférieur à $V_p-0,5$</i>	Tous joueurs	14%	8%	14%	26%
		Standards	17%	8%	15%	23%
		Institutionnels	14%	10%	10%	38%
		Agriculteurs	4%	7%	15%	26%

Résultat 3. *En année humide, deux stratégies prédominent : optimiser ou économiser.*

La part des sujets optimisateurs augmente fortement en année humide, passant de 24% (année moyenne) à 40% (Tableau 4 - 10). Cela peut s'expliquer par le fait que l'optimum n'est pas très éloigné du volume autorisé (11 au lieu de 8 pour les agriculteurs A) : le pas à franchir étant limité, certains sujets sont passés d'une stratégie de prélèvement intermédiaire à une stratégie d'optimisation. A contrario, la proportion de sujets choisissant d'économiser de l'eau triple en année humide (26% contre 8% en année moyenne). Ce comportement est inattendu car il réduit le profit. Dans les questionnaires, les sujets expliquent que c'est une façon pour eux de compenser les dépassements réalisés les autres années. Ceci montre qu'ils interprètent le jeu à leur façon, en y projetant le fonctionnement réel d'une nappe (fonctionnement pluriannuel avec un impact des prélèvements d'une année sur l'autre). Dans les débriefings, les agriculteurs lient directement leur comportement à la réalité : « en année sèche, on dépasse ; en année humide, on économise, c'est le principe de la climatologie en agriculture ».

Résultat 4. *En année sèche, lorsque l'enjeu est plus important, les considérations environnementales s'effacent en faveur de la motivation économique*

En année sèche, la variabilité des prélèvements augmente et la médiane passe sous la moyenne (Figure 4 - 10), montrant que les gros prélèvements s'éloignent davantage de la médiane que les petits. L'écart se creuse donc entre les sujets qui cherchent à maximiser leur profit et ceux qui cherchent à préserver la nappe. Ainsi, chez les individus pour qui la maximisation du profit est un critère plus important que la préservation de la nappe, plus l'enjeu est important (gain marginal élevé par unité

prélevée), plus le dépassement est assumé : en année sèche, les considérations environnementales s'effacent en faveur de la motivation économique.

Tableau 4 - 11 : Comparaison des moyennes de prélèvements observés aux prélèvements théoriques.

Pour chaque traitement, climat et type de public, sont donnés la différence entre prélèvement observé et prélèvement théorique en valeur absolue et le prélèvement observé en pourcentage du prélèvement théorique.

Traitement	Traitement de contrôle						Bonus-Malus						Contrat Solidaire														
Climat	S		M		H		S		M		H		S		M		H										
A	-6,4	70%	***	-3,8	76%	***	-1,8	84%	***	3,6	221%	***	2,2	144%	***	-0,7	90%	***	5	225%	***	1,8	128%	***	0,1	101%	-
A (labo)	-6,2	70%	***	-3,7	77%	***	-1,7	84%	***	3,0	200%	***	1,7	134%	***	-1,0	87%	***	4,5	214%	***	1,6	125%	***	-0	99%	-
A (insti)	-8,5	60%	***	-4,7	71%	***	-2,5	78%	***	4,4	248%	***	2,6	152%	***	-0,5	94%	*	5	224%	***	1,7	127%	***	0	101%	-
A (agri)	-5,2	75%	***	-3,2	80%	***	-1,3	88%	**	5,0	267%	***	3,4	169%	***	-0,2	97%	-	6,4	259%	***	2,6	140%	***	0,5	106%	-
B	-7,6	71%	***	-5,5	74%	***	-3,3	79%	***	-5,1	78%	***	-3,1	83%	***	-1,0	92%	**	-6,6	67%	***	-2,5	83%	***	-0,4	97%	-
B (labo)	-8,3	68%	***	-5,8	72%	***	-3,3	80%	***	-4,3	81%	***	-2,5	86%	***	-0,5	97%	-	-6,6	67%	***	-2,6	82%	***	-0,1	99%	-
B (insti)	-7,6	71%	*	-5,1	76%	**	-4,0	75%	**	-7,5	67%	**	-4,6	74%	**	-1,1	92%	-	-7,6	62%	**	-2,7	82%	-	-0,6	95%	-
B (agri)	-5,6	78%	**	-4,7	77%	**	-3,0	81%	*	-5,8	75%	**	-3,5	80%	**	-2,5	81%	*	-5,7	71%	***	-2,1	86%	*	-0,9	92%	-
Groupe 2A+B	20	70%	***	13	75%	***	6,9	82%	***	-2	108%	**	-1	105%	**	2,5	91%	***	-3	112%	***	-1	104%	**	0,2	99%	-
2A+B (lab)	21	70%	***	13	75%	***	6,7	82%	***	-2	106%	**	-1	103%	-	2,4	91%	***	-2	109%	***	-1	102%	*	0,3	99%	-
2A+B (inst)	22	68%	***	14	74%	**	8,1	79%	**	-3	109%	-	-2	106%	-	1,7	94%	-	-3	112%	-	-1	105%	-	-0	101%	-
2A+B (agri)	17	75%	**	11	79%	**	5,8	85%	**	-4	112%	-	-3	110%	-	3,8	87%	**	-7	125%	**	-3	110%	-	0,7	97%	-

Significativité : *0,1 ; ** 0,05 ; *** 0,01 – Test de Wilcoxon-Mann-Whitney

Tableau 4 - 12 : Comparaison des moyennes de prélèvements observés aux volumes autorisés.
Chaque traitement, climat et type de public, le tableau indique les différences entre prélèvement observé et volume autorisé en valeur absolue.

Traitement	Traitement de contrôle			Bonus-Malus			Contrat Solidaire			Volume autorisé
Climat	S	M	H	S	M	H	S	M	H	
A	6,6 ***	4,2 ***	1,2 ***	-1,4 ***	-0,8 ***	-1,2 ***	1,0 ***	0,3 **	0,1 -	8
A (labo)	6,8 ***	4,3 ***	1,3 **	-2,0 ***	-1,3 ***	-1,5 ***	0,5 -	0,1 -	-0,1 -	8
A (insti)	4,5 **	3,3 ***	0,5 -	-0,6 -	-0,4 *	-1,0 ***	1,0 *	0,2 -	0,0 -	8
A (agri)	7,8 ***	4,8 ***	1,7 **	0,0 -	0,4 -	-0,7 *	2,4 **	1,1 **	0,5 -	8
B	6,4 ***	3,5 ***	0,7 -	5,9 ***	2,9 ***	0,0 -	1,4 **	0,5 -	-0,4 -	12
B (labo)	5,7 ***	3,2 ***	0,8 -	6,7 ***	3,5 ***	0,5 ***	1,4 **	0,4 -	-0,1 -	12
B (insti)	6,4 -	3,9 *	-0,0 -	3,5 -	1,4 -	-0,1 -	0,4 -	0,3 -	-0,6 -	12
B (agri)	8,4 **	4,3 **	1,0 -	5,2 **	2,5 *	-1,5 -	2,3 **	0,9 -	-0,9 -	12
Groupe 2A+B	19,7 ***	12,0 ***	3,1 ***	3,2 ***	1,3 **	-2,5 ***	3,4 ***	1,1 **	-0,2 -	28
2A+B (lab)	19,3 ***	11,7 ***	3,3 **	2,7 ***	0,8 -	-2,4 ***	2,5 ***	0,6 *	-0,3 -	28
2A+B (inst)	18,0 ***	11,4 ***	1,9 -	3,5 -	1,6 -	-1,7 -	3,4 -	1,4 -	0,3 -	28
2A+B (agri)	23,3 **	13,7 **	4,2 -	4,5 -	2,8 -	-3,8 **	7,0 **	2,9 -	-0,7 -	28

Significativité : *0,1 ; ** 0,05 ; *** 0,01 – Test de Wilcoxon-Mann-Whitney

Tableau 4 - 13 : Comparaison des prélèvements moyens par climat.
Estimation de la différence des moyennes de prélèvements entre deux climats (S : sec, M : moyen, H : humide).

Traitement		Traitement de contrôle		Bonus-Malus		Contrat Solidaire	
Climat		M	H	M	H	M	H
Prélèvement individuel A	S	2,4***	5,4***	-0,5***	-0,1	0,7	0,9***
	M		3,0***		0,4*		0,3
Prélèvement individuel B	S	2,9***	5,7***	3,0***	5,9***	0,9***	1,8***
	M		2,8***		2,9***		0,8*
Prélèvement du groupe 2A+B	S	7,7***	16,5***	1,9***	5,6***	2,2***	3,6***
	M		8,8***		3,8***		1,3***

Significativité : *0,1 ; ** 0,05 ; *** 0,01 – Test des rangs signés de Wilcoxon

Résultat 5. En l'absence d'instrument de régulation, les sujets de la Vienne prélèvent moins que les autres et notamment que ceux du Tarn-et-Garonne.

Les différences observées entre les publics (sujets standards, institutionnels et agriculteurs) ne sont pas significatives. En revanche, certaines différences significatives sont observées entre les terrains d'étude : en année sèche, les sujets du Tarn-et-Garonne prélèvent davantage que les sujets des autres terrains, de 2,4 à 7,5 unités. C'est avec les sujets de la Vienne que la différence est la plus forte (7,5 unités). Plus particulièrement, les sujets de la Vienne ayant le rôle de l'agriculteur A prélèvent en moyenne 5 unités de moins que ceux du Tarn-et-Garonne et jusqu'à 9 unités de moins en année sèche.

Dans les débriefings, certains agriculteurs du Tarn-et-Garonne expliquent qu'ils n'« arrivent pas dans ce jeu innocents », mais qu'ils reproduisent un comportement réel : pour faire face à des incertitudes omniprésentes (climat, prix, maladies,...), les agriculteurs sont obligés de maximiser tous les ans : « si on savait quel était le climat, le prix, etc, là, on serait éco-responsables ». A l'inverse, dans la Vienne, certains agriculteurs se sont dits « gênés » par la notion d'« autorisation » introduite dans le jeu, ne comprenant pas l'utilité de définir une autorisation si le dépassement n'est pas puni : « dans ces cas-là, il ne faut pas donner d'autorisation ». Un autre explique qu'ils sont « conditionnés par le pouvoir de police et des autorisations. [...] On est déjà dans le moule, on fait notre assolement en fonction de ce qu'on nous autorise à prélever ». Les contextes réels propres à chacun de ces groupes ont donc influencé les sujets dans le choix de leurs stratégies : rappelons que dans le Tarn-et-Garonne, l'Etat n'a pas les moyens de contrôler le respect des volumes autorisés, si bien qu'ils ne sont pas considérés comme de réelles contraintes par les agriculteurs, qui prélèvent selon leurs besoins ; à

l'inverse, dans la Vienne, la mise en place de mesures de restrictions et d'une gestion volumétrique effective depuis les années 2000 a incité les agriculteurs à adapter leur assolement aux autorisations délivrées chaque année.

4.2. Traitement Bonus-Malus (T1)

Résultat 6. L'instrument de régulation « bonus –malus » réduit les prélèvements de groupe de 10,9 unités, soit près de 28%.

L'application de l'instrument de régulation bonus-malus agit sur les choix de prélèvement (Tableau 4 - 14): il permet de réduire de près de 28% le prélèvement total des groupes. Cependant, le niveau d'extraction durable de la nappe continue d'être dépassé de façon significative en année sèche et humide. Les résultats suivants détaillent les comportements des sujets qui expliquent cette observation.

Tableau 4 - 14 : Comparaison des moyennes de prélèvements entre le traitement T1 et le traitement T0. La variation entre les deux est donnée en valeur absolue et en pourcentage.

		S			M			H			Tous climats		
Variation des prélèvements de T0 à T1	A	-8,0	-55%	***	-5,0	-41%	**	-2,5	-27%	*	-5,2	-43%	**
	B	-0,5	-3%	-	-0,6	-4%	-	-0,7	-5%	-	-0,6	-4%	-
	Groupe 2A+B	-16,5	-42%	***	-10,6	-27%	*	-5,6	-14%	*	10,9	27,6%	*

Significatif à *0,1 ; ** 0,05 ; *** 0,01 - Test des rangs signés de Wilcoxon

Résultat 7. Soumis au bonus-malus, les sujets de type A choisissent d'économiser l'eau, mais pas avec l'amplitude prédite.

Parmi les sujets de type A, 67% prélèvent moins que leur volume autorisé dans l'espoir de recevoir un paiement (Tableau 4 - 15) : ils économisent entre 0,8 et 1,4 unités suivant les climats (Tableau 4 - 12).

Cependant, bien qu'ils adoptent la stratégie prédite par la théorie, ils ne l'exploitent pas de façon optimale (Figure 4 - 11). Les sujets de type A prélèvent jusqu'à 3,6 unités de plus que ce qui leur rapporterait un profit maximal (Tableau 4 - 11). La première hypothèse qui expliquerait ce comportement est l'aversion au risque des sujets : comme le paiement reçu n'est pas connu à l'avance mais dépend du dépassement du joueur B, les joueurs A ne prennent pas le risque de réduire fortement leur prélèvement. Ils semblent plutôt chercher un compromis, en réalisant une économie d'eau

raisonnable (autour de 1,2 unités, voir Tableau 4 - 12), consentant une légère perte sur le profit assuré, que viendra combler le paiement espéré. Cette hypothèse d'aversion au risque est confortée par les observations de la première période, où l'on observe un prélèvement moyen supérieur de 1 unité aux prélèvements des autres périodes (7,7 unités contre 6,7 en moyenne), comme si les sujets A avaient « testé » le jeu avant de choisir leur stratégie.

Les réponses aux questionnaires confirment ces résultats : 52% déclarent avoir choisi d'économiser de l'eau, parmi lesquels 83% pour accroître leur profit et 12% pour protéger la nappe. Parmi les quelques joueurs A n'ayant jamais économisé d'eau (8 sujets), certains n'ont pas trouvé la stratégie économiquement intéressante (3) ou l'ont considéré trop risquée (3).

Les débriefings confirment l'hypothèse d'aversion au risque, les sujets étant réticents à économiser au départ : « au premier tour, vous mettez 8 car vous vous demandez ce que ça va vous rapporter. Et ensuite vous baissez ». Par ailleurs, comme le dit une représentante institutionnelle du Tarn-et-Garonne : « je prélevais 7 et ça suffisait à gagner 50, 90, voire 100 écus ». C'est une autre explication au comportement des sujets A qui ne réduisent pas leur prélèvement jusqu'au niveau optimal : ils ne cherchent pas à maximiser leur profit et sont satisfaits lorsque le montant reçu de la cagnotte suffit à dépasser la perte due à la réduction du prélèvement.

Tableau 4 - 15 : Choix stratégiques et proportions de sujets par stratégie dans le traitement T1 – Bonus-Malus

Comportement			Part des sujets			
Stratégie	Critère de calcul	Public	Tous climats	S	M	H
Respect du volume prélevable	<i>Prélèvement moyen entre $V_p - 0,5$ et $V_p + 0,5$</i>	Tous joueurs	19%	12%	16%	27%
		Standards	13%	8%	11%	31%
		Institutionnels	33%	24%	24%	14%
		Agriculteurs	26%	15%	26%	26%
Stratégie bonus pour les A	<i>Prélèvement moyen inférieur à $V_p - 0,5$</i>	Tous joueurs A	67%	77%	61%	66%
		A Standards	80%	88%	71%	66%
		A Institutionnels	50%	64%	64%	79%
Stratégie malus pour les B	<i>Prélèvement supérieur à $V_p + 0,5$</i>	Tous joueurs B	75%	82%	73%	55%
		B Standards	86%	89%	86%	61%
		B Institutionnels	57%	43%	43%	57%
		B Agriculteurs	56%	89%	56%	33%

Résultat 8. Soumis au bonus-malus, les sujets de type A ne modifient pas leur stratégie en fonction du climat.

Un deuxième résultat, surprenant, est que les sujets de type A ne modifient pas leur niveau de prélèvement en fonction du climat (Tableau 4 - 13), prélevant autour de 6,9 unités d'eau à chaque période. Deux explications sont envisageables : soit les joueurs A n'anticipent pas les variations de dépassement des joueurs B en fonction du climat, soit ils estiment qu'une économie d'eau de 1 à 2 unités rapporte un montant acceptable quel que soit le climat. Or, en année humide, cette stratégie génère une perte de profit (les joueurs B ne dépassant que d'une unité). C'est ce qui est arrivé aux joueurs A en période 4, première année humide du traitement après deux années sèches « rentables » qui les ont certainement mis en confiance quant à leur stratégie. Les sujets n'avaient donc pas anticipé les variations de dépassement du joueur B. Cette déconvenue en période 4 est probablement à l'origine de la hausse des prélèvements l'année suivante, en période 5, année climatique moyenne, (ce qui explique la différence significative observée entre les années moyennes et les autres (Tableau 4 - 13).

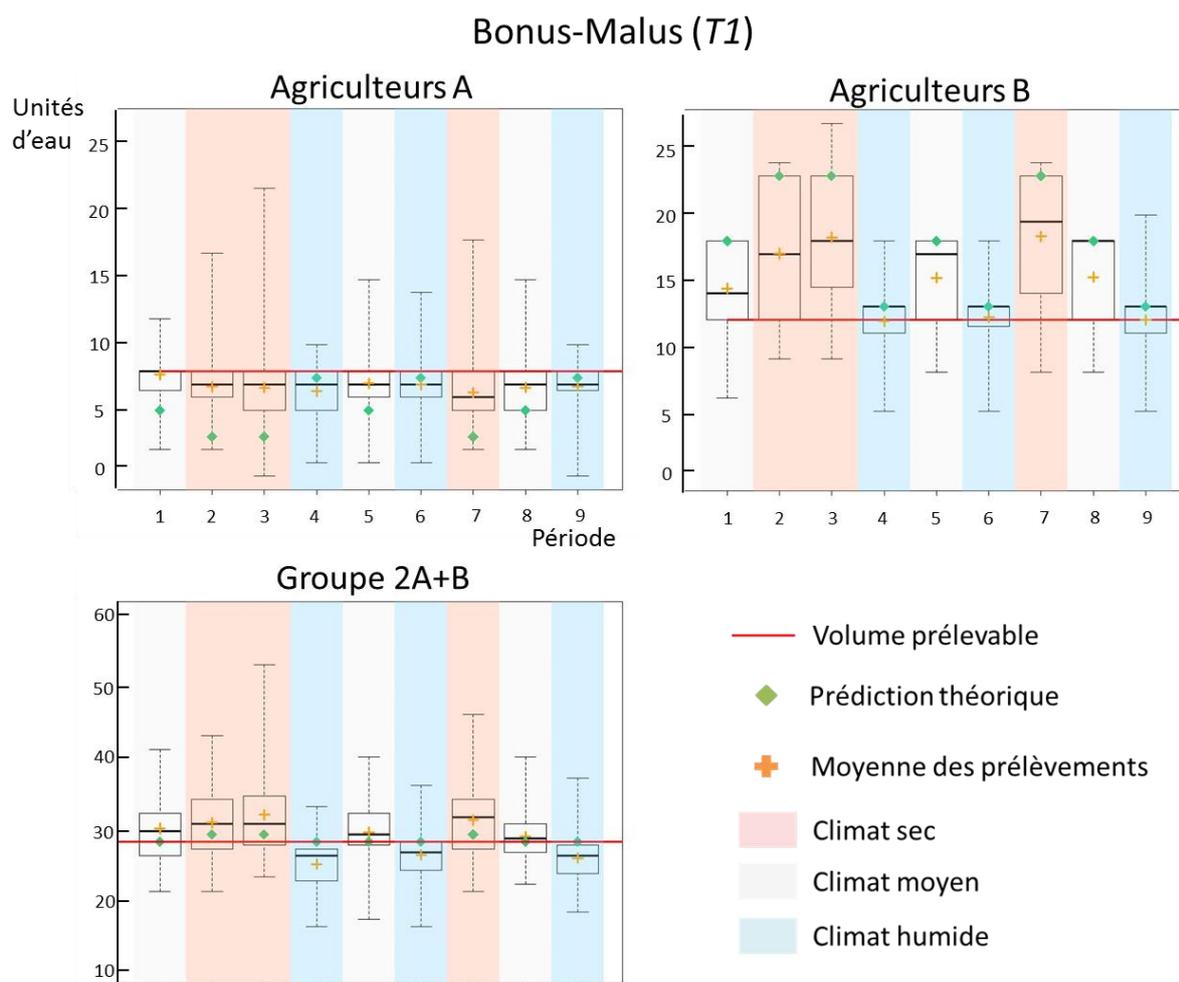


Figure 4 - 11 : Distribution des prélèvements des agriculteurs A, B et des groupes (2A+B) au cours du temps dans le traitement Bonus-Malus (T1) – tous types sujets confondus

Résultat 9. Soumis au bonus-malus, les sujets de type A sur le terrain choisissent un niveau de prélèvement supérieur à celui que choisissent les sujets de type A en laboratoire.

Les sujets agriculteurs sont moins nombreux à choisir d'économiser de l'eau : ils sont en moyenne 39%, contre 50% chez les institutionnels et 80% au laboratoire (Tableau 4 - 15). De même, les sujets de type A issus du terrain prélèvent plus que ceux en laboratoire, à hauteur de 0,94 unité pour les institutionnels et 1,48 unités pour les agriculteurs. Pour expliquer cette différence, nous pouvons raisonnablement avancer que les sujets du terrain, et plus particulièrement les agriculteurs, sont attachés à la fonction productive de l'irrigation et à l'origine de leur revenu par le travail. Ils sont donc réticents, par principe, à réduire leur production pour recevoir des paiements ou des subventions.

Les débriefings ont là encore permis de faire le parallèle avec la réalité. Les sujets jouent le jeu imprégnés de leur expérience : « j'ai joué selon les climats, comme si c'était la réalité », « j'ai privilégié l'aspect réalité : en année sèche, je dépassais parce qu'il fallait irriguer ma culture, et je me rattrapais les autres années ». D'autres confirment l'hypothèse selon laquelle les agriculteurs sont réticents à réduire leur irrigation pour augmenter leur profit : « je ne voulais pas faire du bénéfice sur des transferts d'eau », « ce n'est pas le bonus qui va nous influencer, que ça vienne de pénalités ou de l'Etat ».

Résultat 10. Soumis au bonus-malus, les sujets de type B choisissent un niveau de prélèvement situé entre leur volume autorisé et le volume optimal.

Les sujets de type B choisissent de payer une pénalité pour dépasser leur volume autorisé, ce qui est conforme à la prédiction théorique. Ils sont plus nombreux à choisir cette stratégie en laboratoire (86%) que sur le terrain (57 et 56%) (Tableau 4 - 15). En revanche, leurs prélèvements restent inférieurs au prélèvement optimal (Tableau 4 - 11). Cela peut s'expliquer de la même façon que pour le traitement T0 (sensibilité environnementale). Il est aussi possible que le paiement pour dépassement, bien qu'il soit présenté de façon neutre dans les instructions, soit considéré comme une sanction par les sujets et donne donc l'image du dépassement comme un comportement indésirable.

Dans les débriefings, les raisons invoquées pour expliquer ce dépassement limité sont les mêmes que dans le traitement T0 et dans tous les cas font le parallèle avec la réalité des agriculteurs : certains choisissent de respecter le volume autorisé en année moyenne et s'adapter en années sèche et humide, d'autres de respecter strictement l'autorisation par principe : « je suis restée dans mon exploitation, dans ma vraie vie. J'ai un tempérament de précaution, j'ai respecté ou dépassé un peu. Je suis pas allée dans l'optimisation ».

4.3. Traitement Contrat solidaire (T2)

Résultat 11. *L'instrument de régulation « contrat solidaire » réduit les prélèvements de groupe de 10,2 unités, soit près de 26%.*

L'instrument de régulation contrat solidaire agit sur le niveau des prélèvements (Figure 4 - 12 et Tableau 4 - 16) : il permet de réduire de 26% le prélèvement total des groupes. Cependant, le niveau d'extraction durable de la nappe continue d'être dépassé de façon significative en année sèche et moyenne (Tableau 4 - 12).

Tableau 4 - 16 : Comparaison des moyennes de prélèvements entre le traitement T2 et le traitement T0. La variation entre les deux est donnée en valeur absolue et en pourcentage.

		T2 Versus T0											
		S			M			H			Tous climats		
Variations des prélèvements de T0 à T2	A	-5,7	-39%	***	-3,9	-32%	***	-1,2	-13%	***	-3,6	-30%	***
	B	-5,0	-27%	***	-3,0	-20%	***	-1,0	-8%	*	-3,0	-19%	***
	Groupe 2A+B	-16,3	-41%	***	-10,8	-27%	***	-3,4	-8%	***	-10,2	-26%	***

Significatif à *0,1 ; ** 0,05 ; *** 0,01 - Test des rangs signés de Wilcoxon

Résultat 12. *Dans deux tiers des groupes en contrat, les sujets A comme B prélèvent à hauteur de leur volume autorisé, si bien qu'il se crée un équilibre de jeu coopératif.*

Contrairement aux prédictions théoriques, 64% des agriculteurs B choisissent de ne pas dépasser leur volume autorisé (Tableau 4 - 18). Ils prélèvent entre 0,4 et 6,6 unités de moins que les prédictions théoriques (différences significatives en années sèche et moyenne, voir Tableau 4 - 11) : les sujets B ne choisissent donc pas une stratégie systématique de *free-riding*. Pour expliquer ces observations qui contredisent la prédiction théorique, la première hypothèse réside dans la connotation négative de la sanction collective, qui incite les joueurs à ne pas dépasser, malgré l'intérêt économique. Une deuxième hypothèse serait que les joueurs B soient altruistes et ne veuillent pas imposer de sanction collective aux joueurs A. Enfin, les sujets de type B peuvent avoir comparé les espérances de profit dans et hors contrat sans prendre en compte le nombre de périodes de jeu, ce qui, contrairement aux prédictions, les incitent à coopérer pour que le contrat se maintienne le plus longtemps possible.

De même, les sujets de type A ne réduisent pas leur prélèvement comme le prédit la théorie mais le maintiennent au niveau de leur autorisation, voire au-delà en année sèche. Ceci leur est permis grâce au comportement coopératif des sujets de type B.

Ainsi, un équilibre de jeu coopératif se crée au sein des groupes, avec un respect quasi-systématique des autorisations par chaque membre. Or, en l'absence de communication, la théorie prédit la dominance de comportements opportunistes.

Nous identifions deux mécanismes qui ont pu permettre à cette coopération de se mettre en place : (i) la répétition des jeux et (ii) le dévoilement des intentions de prélèvements avant la prise de décision finale. L'influence de la répétition des jeux est évoquée par certains sujets dans le questionnaire : « connaissant le groupe au bout d'un certain nombre d'années, j'avais confiance dans notre capacité à être raisonnable pour ne pas dépasser ». Elle l'est aussi dans les débriefings, certains tâtonnant avant de coopérer (« j'ai testé en année humide d'aller à 13 et c'est passé. J'ai retenté au 7^{ème} tour et cette fois, ce n'est pas passé. Les années suivantes, je suis repassé à 12 »), d'autres échangeant implicitement et sans communiquer des volumes d'une période à l'autre (« on a échangé des volumes : une période je prends 9, la fois d'après c'est toi qui prends 9 »). De même, la transparence a été utilisée comme un moyen de communication entre les joueurs, leur permettant d'élaborer des stratégies et des règles, soit par réciprocité (« les prélèvements étaient dans les normes autorisées, cela m'a convaincu d'être dans un bon groupe et de moi-même respecter les prélèvements »), soit par la force (« lorsque l'un des agriculteurs a pris plus d'eau qu'autorisé, j'ai repris la même quantité [la période suivante]. Ensuite chacun a respecté les limites »).

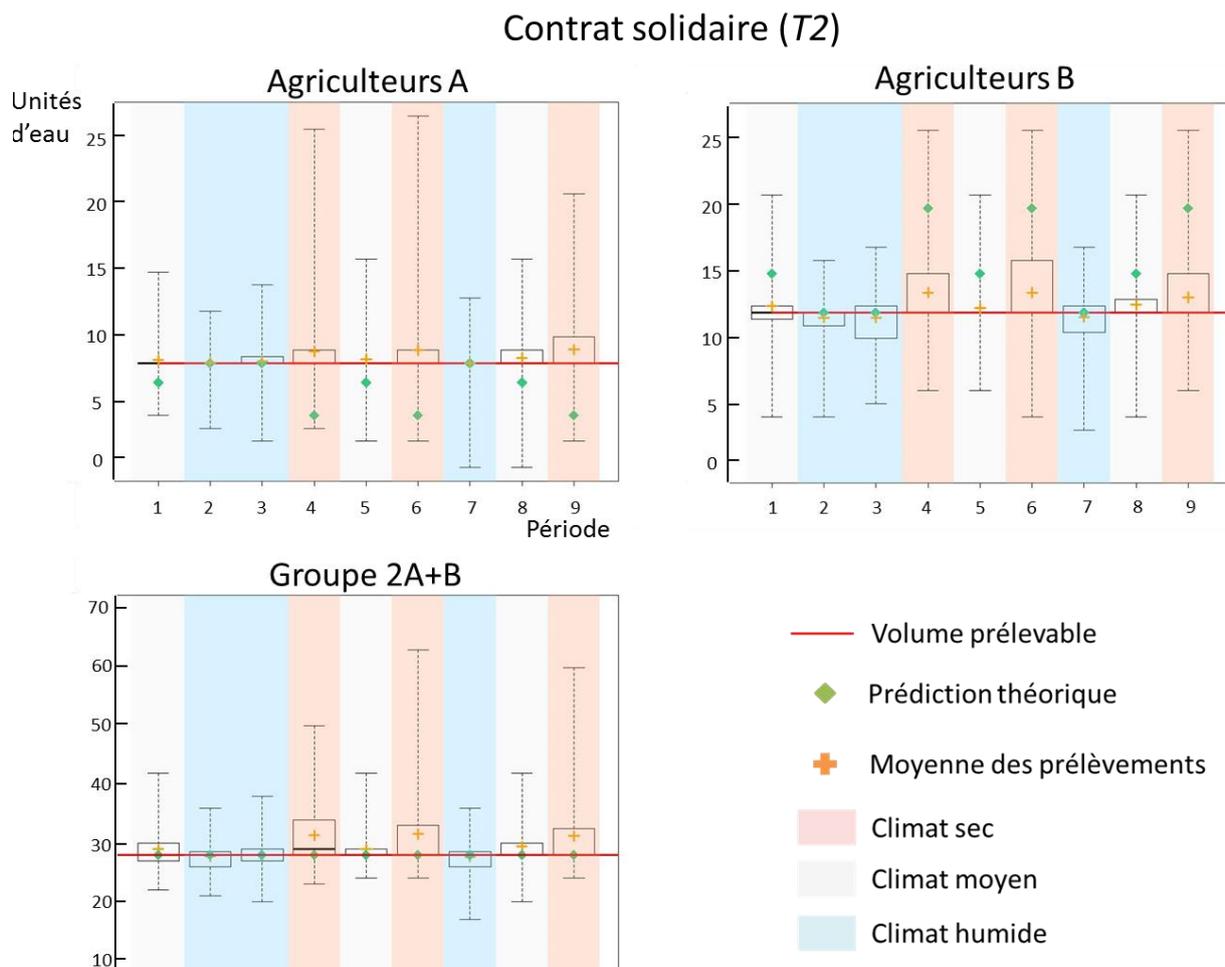


Figure 4 - 12 : Distribution des prélèvements des agriculteurs A, B et des groupes (2A+B) au cours du temps dans le Contrat solidaire (T2) – tous types sujets confondus

Résultat 13. Dans un tiers des groupes en contrat, les agriculteurs B choisissent le free-riding et dépassent leur volume autorisé.

Parmi les agriculteurs B, 36% se conforment à la prédiction théorique en choisissant la stratégie du free-riding (Tableau 4 - 17). Cependant, ils prélèvent rarement jusqu'au niveau optimal : soit parce que d'autres joueurs choisissent de dépasser et que la sanction collective est plus élevée que prévue, soit parce que des considérations non économiques influencent leur décision et limitent leur optimisation (connotation négative de la sanction, souci de l'impact de la sanction sur les autres sujets). En réaction au comportement de B, les agriculteurs A adoptent différentes stratégies : certains maintiennent leur prélèvement au niveau de leur volume autorisé, comme s'ils cherchaient à résister à la pression de l'agriculteur B ; d'autres réduisent leur prélèvement pour limiter le dépassement, choix fait sous la contrainte (« j'ai réduit mes prélèvements parce que le joueur B dépasse ses 12 [unités

autorisées] ») ou volontairement (« j'ai remarqué qu'un sacrifice de 2 unités en contrat ne changeait pas mon profit par rapport au jeu en individuel en année sèche »); d'autres enfin commencent par respecter puis dépassent fortement par à-coup, comme pour signaler à l'agriculteur leur désapprobation et leur capacité à infliger à B une sanction en représailles. On assiste ici à une forme de communication indirecte entre les joueurs.

Sur le terrain, les réactions exprimées lors des débriefings expliquent ces observations. Dans le Tarn-et-Garonne, un institutionnel déclare qu'en tant qu'agriculteur B, il faisait « ce qu'il voulait ». Il explique avoir adopté le comportement d'un agriculteur connu par les services de l'Etat et les autres agriculteurs comme ne se souciant ni des besoins en eau des autres, ni des coûts sociaux que son comportement implique (« il n'en fait qu'à sa tête, quitte à se mettre tout le monde à dos »). Un autre joueur B explique avoir commencé par respecter son autorisation, puis, voyant la sanction collective déclenchée par les autres, a changé sa stratégie et choisi de dépasser. En retour, certains joueurs A disent avoir réduit leur prélèvement pour éviter la sanction collective. L'un d'eux dit s'être agacé du comportement du joueur B et avoir tenté, en dépassant son autorisation à son tour, de le faire changer de stratégie : « après je me suis énervé, j'ai essayé de lui faire comprendre, j'ai essayé d'envoyer un message, mais ça n'a pas marché ».

Tableau 4 - 17 : Choix stratégiques et proportions de sujets par stratégie dans le traitement T2 - Contrat solidaire

Comportement			Part des sujets			
Stratégie	Critère de calcul	Public	Tous climats	S	M	H
Choix du volume prélevable	<i>Prélèvement moyen entre $V_p - 0,5$ et $V_p + 0,5$</i>	Tous joueurs	46%	48%	51%	46%
		Standards	49%	51%	52%	52%
		Institutionnels	48%	57%	57%	33%
		Agriculteurs	37%	33%	41%	37%
Choix du free-riding (pour les B)	<i>Prélèvement supérieur à $V_p + 0,5$</i>	Tous joueurs B	36%	45%	30%	30%
		B Standards	32%	39%	25%	25%
		B Institutionnels	43%	29%	29%	57%
		B Agriculteurs	44%	78%	44%	22%
Choix de la réduction du prélèvement (pour les A)	<i>Prélèvement moyen inférieur à $V_p - 0,5$</i>	Tous joueurs A	16%	14%	16%	23%
		A Standards	20%	16%	20%	25%
		A Institutionnels	7%	7%	7%	21%
		A Agriculteurs	11%	11%	11%	17%

Résultat 14. A la 10^{ème} période, 50% des contrats sont maintenus et 43% sont maintenus jusqu'à la 12^{ème} période.

A la 10^{ème} période, 50% des contrats sont maintenus : 31% parmi les groupes où l'agriculteur B s'est comporté en free-rider et 60% parmi les groupes où le joueur B a respecté son autorisation. Au total, 69% des sujets A et 77% des sujets B ont souhaité maintenir leur contrat. En résulte la rupture de la moitié des contrats. Ceux qui sont maintenus le sont durablement, 86% étant maintenus jusqu'à la fin du jeu. Nous notons une corrélation, bien que limitée, entre le nombre de sanctions collectives subies dans les 9 premières périodes et l'état du contrat à la 10^{ème} période (-0.57). Parmi les sujets ayant souhaité rompre le contrat, 24% disent avoir eu une mauvaise expérience dans le contrat (sanction collective), 20% vouloir désapprouver le comportement des autres, 16% avoir été le seul à faire des efforts et 11% considérer le contrat trop risqué. Certains évoquent le manque d'esprit collectif du groupe et le besoin de communiquer. Parmi ceux ayant voulu maintenir le contrat, 57% l'ont fait car les profits y sont plus élevés (ce qui est vrai pour les joueurs A lorsque tous les joueurs respectent leurs autorisations), 16% ont eu une bonne expérience du contrat (pas ou peu de sanctions collectives) et 10% sont favorables à une transparence des prélèvements.

Dans les débriefings, les sujets sont revenus sur le risque de sanction collective lié au contrat et de l'incertitude sur le profit, alors que hors contrat, la sanction est individuelle et le profit final est connu à l'avance.

Résultat 15. Les sujets de type A issus du public d'agriculteurs prélèvent plus que les sujets de laboratoire.

Les sujets de type A agriculteurs prélèvent jusqu'à 2,48 unités de plus que les sujets de laboratoire (année sèche, significatif à 0.05). On remarque qu'ils sont deux fois moins nombreux que les sujets de laboratoire à réduire leur prélèvement sous le niveau de leur autorisation (Tableau 4 - 17). Il est possible que les sujets agriculteurs soient davantage conscients de l'impact qu'aurait leur décision de prélèvement dans la réalité : en année sèche, l'enjeu économique prévaut sur le respect du contrat. De même, le nombre de contrats rompus à la 10^{ème} période est significativement différent entre les sujets de laboratoire (39% des contrats) et les sujets agriculteurs (14%). Dans le questionnaire, certains

agriculteurs expliquent regretter le manque d'esprit collectif de leur groupe, alors que d'autres déclarent préférer avoir une gestion et une autorisation individuelle.

Dans les débriefings, les agriculteurs expliquent pourquoi réduire leur prélèvement sous le seuil de son autorisation leur paraît risqué, voire absurde : dans la réalité de leur exploitation, ils optimisent l'usage de l'eau et maximisent leur profit chaque année pour pouvoir faire face en cas de problème (« si vous avez été vertueux pendant 2 ans et que la troisième année, vous avez un gros problème, et bien vous n'aviez qu'à faire des réserves. La vertu ne paie pas ») et parce que les investissements doivent être rentabilisés (« ils ont investi dans un forage, un équipement aérien ou souterrain, employé des salariés, etc. »). Il faut donc que derrière la production soit là. La marge de manœuvre n'est donc pas bien élevée ». Enfin, la menace de la sanction collective a probablement moins d'emprise sur les agriculteurs, qui en cas de sécheresse sont prêts à payer pour sauver leur culture : « je préfère payer une pénalité que d'assumer un risque pour ma culture ».

4.4. Comparaisons des traitements

Les deux instruments ont donc des effets sur les prélèvements par rapport à une situation sans régulation. Nous souhaitons maintenant comparer les instruments entre eux et, en particulier, leurs effets environnementaux (en termes de prélèvement) et économiques (en termes de richesse produite). Pour cela, nous avons élaboré trois indicateurs mesurant leur efficacité, leur efficience et leur fiabilité.

4.4.1. Efficacité

L'efficacité d'un instrument de régulation e_{inst} est mesurée par sa capacité à réduire le prélèvement total du groupe jusqu'au volume total autorisé. Nous la traduisons comme le rapport entre la réduction observée et l'objectif de réduction (calculé à partir de la situation sans instrument). Ainsi, l'efficacité d'un instrument appliqué à un groupe de préleveurs i s'écrit :

$$e_{inst,i} = \frac{\Delta P_{i, T0 \rightarrow Tinst}}{P_{i,T0} - V_{p,TOT}} \quad (1.38)$$

Avec $\Delta P_{i, T0 \rightarrow Tinst}$ la variation du prélèvement total du groupe entre le traitement T0 et le traitement avec application de l'instrument et $V_{p,TOT}$ le volume prélevable total du groupe (28 unités).

Les deux instruments semblent assez efficaces pour réduire le prélèvement des groupes par rapport à la situation sans instrument (Tableau 4 - 20) : 94% pour le bonus-malus et 88% pour le contrat solidaire. La différence observée n'est pas significative et ne permet pas de conclure en la supériorité d'un instrument (Tableau 4 - 18). Dans les deux cas, cette efficacité est plus faible en année sèche, augmente en année moyenne et dépasse même l'objectif en année humide (efficacité supérieure à 100%).

Dans le cas du bonus-malus, nous n'observons aucune différence significative entre les types de publics. En revanche, le contrat solidaire s'avère plus efficace en laboratoire que sur le terrain. Le bonus-malus est plus efficace que le contrat solidaire sur les sujets agriculteurs. Ces deux dernières observations sont à rapprocher du Résultat 15 et des hypothèses de comportement des sujets de terrain, influencés par leur expérience et la réalité.

Tableau 4 - 18 : Comparaison des moyennes de prélèvements entre le traitement T1 et T2. La variation entre les deux est donnée en valeur absolue et en pourcentage.

		T2 Versus T1											
		S			M			H			Tous climats		
Variations des prélèvements entre T1 et T2	A	2,3	35%	***	1,1	16%	***	1,3	19%	***	1,6	23%	***
	B	-4,5	-25%	***	-2,5	-17%	***	-0,4	-3%	-	-2,5	-16%	***
	Groupe 2A+B	0,2	1%	-	-0,2	-1%	-	2,2	8%	***	0,7	3%	-

Significatif à *0,1 ; ** 0,05 ; *** 0,01 - Test des rangs signés de Wilcoxon

L'effet d'ordre a été testé et n'est pas significatif

4.4.2. Valeur de production agricole et efficience

4.4.2.1. Valeur de la production agricole

Pour mesurer l'impact des instruments sur l'économie du secteur agricole, nous comparons les valeurs des productions agricoles dans les différents traitements. Ces valeurs sont approchées par les profits des agriculteurs dans le traitement de contrôle T0, qui correspondent à la marge brute tirée de leur culture. Pour estimer la valeur agricole produite dans les autres traitements, nous ôtons des profits les montants des malus, des bonus, de δ et des sanctions collectives (qui sont des revenus ou des

pertes ne reflétant pas la production agricole). Les valeurs des productions agricoles de chaque traitement sont présentées dans le Tableau 4 - 19.

Sans surprise, la plus grande valeur agricole est produite dans le traitement de contrôle, lorsque les agriculteurs ne sont pas contraints dans leur prélèvement : les agriculteurs A produisent en moyenne une valeur de 383 écus, les B de 582 écus, pour une valeur agricole moyenne par groupe de 1349 écus. Cette valeur est supérieure à la valeur produite dans les autres traitements : les groupes perdent 62 écus avec le bonus-malus (soit une perte de 5%) et 115 écus dans le contrat (soit une perte de 9%).

Tableau 4 - 19 : Valeur de la production agricole (en écus) dans les 3 traitements et dans une situation de respect strict des autorisations

		Sans instrument (T0)	Bonus-Malus (T1)	Contrat solidaire (T2)	Respect des volumes individuels autorisés
Valeur de la production agricole (en écus)	A – Tous publics	383	349	359	356
	A - Standards	384	346	357	356
	A - Institutionnels	378	353	360	356
	A - Agriculteurs	388	355	365	356
	B – Tous publics	582	589	516	509
	B - Standards	573	608	519	509
	B - Institutionnels	590	550	497	509
	B – Agriculteurs	610	565	529	509
	Groupe A2+B	1349	1287	1234	1221
	Groupe - Standard	1340	1300	1233	1221
	Groupe - Institutionnels	1346	1257	1216	1221
	Groupe - Agriculteurs	1387	1275	1258	1221

En revanche, si les instruments réduisent la valeur agricole produite par rapport à une situation sans instrument, ils l'augmentent par rapport à une régulation par un système de quotas stricts (Tableau 4 - 19, 4^{ème} colonne : valeur de la production agricole de 1221 écus contre 1234 et 1287 avec les instruments). La flexibilité introduite par les instruments permet donc d'augmenter la valeur de la production agricole à l'échelle du bassin. Dans le contrat solidaire, cette augmentation est faible et réalisée de façon homogène par les deux types d'agriculteurs (environ 0,1%). Ce n'est pas le cas dans le bonus-malus, où l'augmentation de la valeur totale de la production agricole cache une disparité entre types d'agriculteurs : les B accroissent la valeur de leur production de 16% (+80 écus), alors que la production céréalière des A perd des écus (soit 0,3%).

4.4.2.2. Efficience

Nous définissons l'efficience η_{inst} d'un instrument de régulation comme le nombre d'unités d'eau économisées par écu « perdu » sur la production agricole par rapport au traitement T_0 . Un instrument sera d'autant plus efficace qu'il permettra de réduire les prélèvements en induisant une perte minimale de valeur agricole. Pour un groupe de préleveurs i , le rendement peut s'écrire :

$$\eta'_{inst,i} = \frac{\Delta P_{i, T_0 \rightarrow T_{inst}}}{\Delta VA_{i, T_0 \rightarrow T_{inst}}} \text{ (en unité d'eau / écu)} \quad (1.39)$$

Avec $\Delta VA_{i, T_0 \rightarrow T_{inst}}$ la variation de valeur agricole produite par le groupe entre le traitement de contrôle T_0 et le traitement T_i et $\Delta P_{i, T_0 \rightarrow T_{inst}}$ la variation du prélèvement total du groupe entre le traitement T_0 et le traitement avec application de l'instrument.

L'efficience du bonus-malus est de -0,18 unités d'eau économisées pour un écu « perdu » dans l'application de l'instrument (Tableau 4 - 20). Cela signifie que pour atteindre l'objectif de réduction des prélèvements jusqu'au niveau autorisé (-11,86 unités d'eau entre T_0 et T_1 en moyenne), la production agricole doit subir une perte économique globale de 66 écus, soit 5% de la valeur agricole des groupes à T_0 . L'efficience du bonus-malus est nettement supérieure chez les sujets de type standard (-0,27 unités par écu contre -0,10 sur le terrain), ce qui confirme le fait que ces sujets sont davantage optimisateurs.

Le contrat solidaire est en moyenne deux fois moins efficace que le bonus-malus : une perte globale d'un écu sur la valeur de production agricole permet une économie d'eau de 0,09 unités, contre 0,18 dans le bonus-malus. Cependant en année humide, l'efficience monte à 0,50 unités d'eau économisées pour un écu perdu. Des chiffres positifs pour les sujets de laboratoire et institutionnels signifient que dans ces groupes, l'application du contrat a permis à la fois d'économiser de l'eau et d'accroître la valeur de la production agricole. Ces derniers chiffres doivent être pris avec précaution car en année humide, les valeurs de production agricoles ne sont pas significativement différentes entre le traitement de contrôle et le traitement du contrat, ce qui rend le calcul d'efficience très sensible aux faibles variations.

4.4.3. Fiabilité

Nous définissons la fiabilité f_{inst} d'un instrument de régulation comme la fréquence avec laquelle il atteint son objectif, le respect du volume prélevable. La fiabilité d'un instrument appliquée à un groupe de préleveurs i peut donc s'écrire :

$$f_{inst,i} = \frac{\sum_{t=1}^T x(t)}{T} \times 100 \quad (1.40)$$

Avec t la période de jeu, T le nombre total de périodes dans le traitement, et $x_i(t)$ une fonction prenant la valeur 0 quand le volume prélevable global n'est pas respecté par le groupe ($x_i(t) = 0$ si $P_{i,TOT} > V_{p,TOT}(t)$) et la valeur 1 quand il est respecté ($x_i(t) = 1$ si $P_{i,TOT} \leq V_{p,TOT}(t)$).

Le bonus-malus est fiable à 54% : il permet de faire respecter le volume total autorisé un peu plus d'une année sur deux. Toutefois, cette mesure varie selon les années, allant de 33% (une année sur 3) en climat sec à 86% (près de neuf années sur 10) en climat humide.

Le contrat solidaire est plus fiable que le bonus-malus, puisqu'il garantit le respect du volume autorisé 6 années sur 10 (62%). Cette fiabilité est supérieure chez les sujets « standard » par rapport aux sujets de terrain.

Tableau 4 - 20 : Mesures d'efficacité, de fiabilité et de rendement des instruments de régulation

	Traitement Climat	Bonus-Malus			Contrat Solidaire				
		S	M	H	S	M	H		
Efficacité (%)	Tous publics	0,94	0,84	0,89	1,78	0,88	0,83	0,91	1,07
	Standards	0,96	0,86	0,93	1,73	0,92	0,87	0,95	1,08
	Institutionnels	0,89	0,80	0,86	1,88	0,84	0,81	0,88	0,86
	Agriculteurs	0,91	0,81	0,80	1,89	0,78	0,70	0,79	1,17
Efficience (en unités d'eau / écu)	Tous publics	- 0,18	- 0,18	- 0,14	- 0,28	- 0,09	- 0,08	- 0,09	- 0,50
	Standards	- 0,27	- 0,30	- 0,18	- 0,89	- 0,10	- 0,08	- 0,09	6,70
	Institutionnels	- 0,10	- 0,10	- 0,09	- 0,22	- 0,07	- 0,06	- 0,08	0,47
	Agriculteurs	- 0,11	- 0,11	- 0,12	- 0,10	- 0,08	- 0,08	- 0,09	- 0,10
Fiabilité (%)	Tous publics	0,54	0,33	0,42	0,86	0,62	0,52	0,61	0,74
	Standards	0,53	0,31	0,42	0,86	0,69	0,57	0,65	0,83
	Institutionnels	0,56	0,37	0,52	0,78	0,53	0,52	0,59	0,48
	Agriculteurs	0,56	0,38	0,33	0,95	0,48	0,29	0,43	0,71

5. Discussion

5.1. Des instruments aux effets agrégés similaires

L'expérience présentée dans ce chapitre avait pour but de tester les instruments proposés pour réguler les prélèvements agricoles en nappe, en mesurant leur efficacité et en observant des changements effectifs de comportements. Elle a permis de mettre en évidence la capacité des instruments à réduire les prélèvements individuels et totaux par rapport à une situation initiale sans instrument de régulation.

Le premier traitement a d'abord permis de confirmer les prédictions théoriques selon lesquelles l'absence d'instrument de régulation conduit au développement de comportements opportunistes et à la surexploitation de la ressource, conformément au schéma proposé par Hardin dès 1968 et comme cela a été démontré depuis par de nombreux travaux (en économie expérimentale, voir entre autres Murphy et Cardenas (2004), Moreno-Sánchez et Maldonado (2010), Ambec, Garapin, *et al.* (2013), ou Sefton, Shupp, *et al.* (2007)).

L'expérience montre que l'instrument bonus-malus réduit le prélèvement total du groupe de 28% par rapport à une situation sans instrument de régulation et permet de faire respecter le volume prélevable plus de 5 années sur 10. Les observations montrent que les agents économiques choisissent la stratégie (dépasser ou économiser) prédite par la théorie et corroborent la littérature existante sur l'intérêt des incitations financières dans la gestion des ressources communes, qui met en évidence l'effet positif des sanctions d'une part (Fehr et Gächter, 2000; Cardenas, 2004), des récompenses d'autre part (Rapoport et Au, 2001; Vyrastekova, 2008) et finalement de la combinaison d'incitations positive et négative (Sefton, Shupp, *et al.*, 2007; Ambec, Garapin, *et al.*, 2013) sur les comportements d'extraction. Cependant, dans notre expérience, les sujets n'exploitent pas leur stratégie de façon optimale, si bien que le respect du volume prélevable total prévu par la théorie n'est pas toujours atteint.

Le traitement du contrat solidaire montre que l'instrument réduit le prélèvement total des groupes de 26% et permet de faire respecter le volume prélevable plus de 6 années sur 10. Le principal résultat issu de ce traitement est l'émergence d'un équilibre coopératif là où l'on prévoyait un comportement

de *free-riding* chez au moins un des sujets de chaque groupe. De façon surprenante, on observe la tentative de certains sujets d'établir une communication au sein du groupe à travers le dévoilement des intentions de prélèvement : cette transparence devient pour certains un moyen de se coordonner, pour d'autres un moyen d'exprimer sa désapprobation, voire de menacer ses partenaires.

A l'issue de l'expérience, la comparaison des effets induits par les deux instruments sur les prélèvements agrégés ne nous permet pas de tirer des conclusions quant à la supériorité d'un instrument par rapport à l'autre. Les baisses de prélèvement de groupe (28 et 26%) ainsi que les indicateurs d'efficacité (94 et 88%) et de fiabilité (54 et 62%) ne sont en effet pas significativement différents. En revanche, un examen plus approfondi des réponses individuelles aux instruments met en évidence des irrégularités par rapport aux prédictions théoriques, qu'il s'agit d'analyser afin de mieux comprendre les schémas décisionnels des individus.

5.2. Une rationalité étendue

Dans les trois traitements appliqués dans notre expérience, nous observons des comportements qui ne correspondent pas aux prédictions théoriques. Les informations issues des questionnaires et des débriefings nous permettent d'interpréter ces phénomènes. Dans le traitement sans instrument de régulation, les sujets dépassent leurs autorisations mais pas jusqu'au niveau de prélèvement qui maximise leur profit. Ces comportements s'expliquent par différentes raisons : des considérations éthiques et environnementales (l'eau est un bien rare qu'il faut protéger), la mise en place d'une norme sociale dans le groupe (via le bilan du prélèvement total à la fin de chaque période), un raisonnement tiré de situations réelles (dépasser de peu n'implique pas de peine sévère), un raisonnement influencé par l'expérience personnelle (en particulier des agriculteurs), un raisonnement économique modéré (objectif d'un salaire moyen non maximal) ou encore un raisonnement déontologique (en particulier pour le public institutionnel). Dans le traitement avec le bonus-malus, les sujets A comme B n'optimisent pas leur stratégie : les agriculteurs B en prélevant en deçà du volume optimal, les agriculteurs A en économisant trop peu d'unités d'eau. Cette dernière observation peut s'expliquer par : l'aversion au risque, la satisfaction d'avoir reçu un bonus même sous-optimal, le rejet sur des bases éthiques du principe du bonus. Dans le contrat solidaire, 2/3 des agriculteurs B jouent la

coopération plutôt que le *free-riding*, par altruisme (ne pas imposer une sanction aux autres) et suite à des mécanismes de communication, de menace et de représailles au travers de la transparence existante dans ce traitement.

Contrairement à l'hypothèse théorique selon laquelle la rationalité des individus se limite à la maximisation du gain économique, nous mettons en évidence le fait qu'elle s'étend à des considérations environnementales, éthiques et sociales. Ce constat rejoint le courant de la métaéconomie qui énonce que la rationalité d'un individu est double : la maximisation de l'utilité individuelle est nuancée par la prise en compte de critères moraux et éthiques propres au système social dans lequel l'individu évolue. Les actions et les choix des individus résultent alors d'un compromis entre l'intérêt individuel ou « égoïste » et l'intérêt général (Lynne, 1999; Czap, Czap, *et al.*, 2012).

Ces conclusions nous confortent dans nos choix : le choix théorique d'avoir construit un instrument reposant en partie sur des incitations sociales et le choix méthodologique d'avoir élargi l'évaluation des instruments à des dimensions sociales et éthiques.

Par ailleurs, les considérations non économiques ont pu être renforcées par l'effet de contexte inhérent à notre protocole volontairement contextualisé et qu'il s'agit maintenant d'identifier.

5.3.Effet de contexte

Désolé, Farolfi, *et al.* (2012) définissent le contexte d'une expérience selon quatre caractéristiques qui peuvent influencer les décisions des sujets : la répétition des périodes de jeu (influence par un processus d'apprentissage), l'information fournie dans les instructions (responsable du « framing effect »), la communication entre les sujets et l'expérience personnelle que le sujet apporte dans le jeu.

Dans notre expérience, nous suspectons que la répétition, l'information et l'expérience personnelle ont influencé le comportement des sujets. Dans le traitement du bonus, la répétition des périodes a permis aux sujets de juger les montants potentiels des bonus et d'avoir confiance dans le mécanisme (contrebalançant leur aversion au risque). Dans le contrat, elle a permis que des mécanismes de dépassements alternés, mais aussi de représailles, se mettent en place.

L'information fournie dans les instructions est la source de « bruit » la plus importante de notre protocole. Celui-ci a été volontairement et explicitement appliqué au cas d'une ressource en eau et d'agriculteurs irrigants, les instructions du jeu impliquant également de nombreuses références techniques liées à cet usage (capacité des pompes, cultures irriguées, etc.). Cette contextualisation (« framing ») est responsable des comportements pro-environnementaux d'auto-restriction observés dès le premier traitement.

L'influence de l'expérience personnelle est un des résultats les plus intéressants de cette expérience : on constate que les sujets de terrain et en particulier les agriculteurs apportent leurs propres éléments de contexte au jeu. Ils ne jouent pas uniquement en fonction des paramètres de l'expérience mais selon l'interprétation qu'ils en font au travers de leur réalité (influence de la climatologie sur la décision d'irrigation, nécessité d'optimiser l'irrigation pour parer aux imprévus, existence de contrôle des prélèvements dans la réalité, etc.) : ils interprètent en partie les consignes du jeu pour qu'il corresponde à leur réalité, et non l'inverse. Cela a des implications importantes en économie expérimentale et démontre l'intérêt des *fields experiments* pour capturer ces effets.

Ainsi, pour isoler les effets de contexte, les mesurer et juger de leur influence dans le comportement des sujets, nous pouvons suggérer l'intérêt de conduire la même expérience avec des traitements décontextualisés et un protocole moins complexe.

5.4. Problématique de l'année sèche

L'année climatique sèche reste problématique quel que soit l'instrument appliqué. Sans instrument de régulation, les comportements en année sèche témoignent que les considérations économiques prennent le dessus sur les considérations environnementales. Le bonus-malus perd 20% de sa fiabilité en année sèche, ne faisant respecter le volume prélevable qu'une année sur trois. Dans le traitement du contrat solidaire, les années sèches sont les plus propices à inciter les agriculteurs B à dépasser et ainsi rompre l'équilibre coopératif du groupe.

Ces résultats suggèrent que les instruments ne semblent pas suffire à enrayer la surexploitation de la ressource dans ce cas de figure. Deux solutions peuvent être envisagées : renforcer le pouvoir incitatif des instruments en année sèche en les calibrant autrement (montant des sanctions adaptés au

type de climat), ou bien les compléter par des outils de gestion de crise à déclencher en cas de sécheresse extrême.

5.5. Implications économiques

L'objectif environnemental ne doit pas masquer les conséquences économiques des instruments. Un premier résultat a été de constater que les instruments augmentent la valeur économique totale produite par le groupe d'agriculteurs rapport à un système de quotas stricts. La flexibilité qu'offrent les instruments étudiés est donc favorable au développement économique. En revanche, on remarque que pour une efficacité équivalente, le bonus-malus induit une sélection de la culture à haute valeur ajoutée (arboriculture, légumes de conserves, etc.) au détriment de la culture à faible valeur ajoutée (céréales), alors que le contrat solidaire induit des réductions de production de façon homogène chez tous les agriculteurs. Ces implications économiques sont à prendre en compte lors du choix de l'instrument à mettre en œuvre. C'est un choix de société : préfère-t-on favoriser l'efficacité environnementale ou l'égalité de traitement ?

CONCLUSION PARTIELLE

Ce chapitre a présenté les résultats de l'évaluation des instruments par l'approche expérimentale. Nous avons conduit 12 expériences en laboratoire et sur le terrain. Pour cela, nous avons utilisé un jeu d'extraction d'une ressource commune avec un niveau de contextualisation important. La ressource commune est une nappe d'eau souterraine dans laquelle 3 agriculteurs hétérogènes prélèvent de l'eau pour irriguer leur culture et se générer un revenu. Chaque agriculteur est doté d'un volume autorisé qui assure une exploitation durable de la nappe et qu'il peut choisir de respecter ou de dépasser. Trois traitements sont appliqués : un traitement de contrôle sans instrument de régulation, puis un traitement par instrument. L'expérience est réalisée d'abord en laboratoire puis sur 4 sites d'étude avec des acteurs institutionnels et des agriculteurs. En l'absence de régulation, les sujets prélèvent plus que leur volume autorisé mais pas jusqu'au niveau qui leur procurerait un profit maximal, comme si l'objectif de maximisation du profit était nuancé par une considération environnementale. Le traitement simulant le bonus-malus réduit les prélèvements totaux des groupes de 27%, soit 94% de l'objectif.

Son efficacité est limitée par l'aversion au risque des sujets qui n'osent pas miser intégralement sur l'économie d'eau pour maximiser leur profit. Le contrat solidaire produit des résultats surprenants puisqu'au lieu d'observer des comportements de *free-riding*, des équilibres de coopération durables se mettent en place, démontrant l'efficacité de la menace de sanction collective, et traduisant l'existence d'une pression sociale et d'un altruisme réciproque. Le contrat atteint 88% de son objectif de réduction par rapport au traitement sans instrument, mais est plus fiable que le bonus-malus, garantissant le respect strict du volume prélevable total plus de 6 années sur 10 (contre 5 sur 10 avec le bonus-malus).

DISCUSSION - CONCLUSION

Cette discussion-conclusion vise à faire la synthèse des résultats produits par les deux approches d'évaluation mises en œuvre dans la thèse, afin d'en dégager des implications en termes de politiques publiques de régulation des prélèvements agricoles en nappe en France. Dans une deuxième partie, nous revenons sur l'approche méthodologique originale utilisée dans la thèse, ses avantages et ses limites au regard des objectifs poursuivis. La troisième partie propose des pistes de recherches pour approfondir le travail.

1. Implications en termes de politiques publiques

1.1. Des incitations à adapter à une fonction d'utilité étendue

Les instruments ont été élaborés à partir d'un modèle prédictif de la prise de décision individuelle, relativement simplifié et supposant que les décisions des agriculteurs en matière de prélèvement en eau sont essentiellement déterminées par des motivations économiques. Notre travail a cherché à affiner ce modèle et identifier les autres déterminants de ces décisions. En particulier, il a permis de confirmer la coexistence de plusieurs sources de motivations à l'action individuelle : la maximisation du profit individuel d'une part et les motivations d'ordre éthiques, sociales, environnementales d'autre part. Le constat de cette double motivation doit être pris en compte pour élaborer des politiques publiques incitatives ciblées, justes et efficaces.

La logique de maximisation économique a été mise en évidence à la fois dans les ateliers et par l'économie expérimentale. Les discussions des ateliers ont montré l'importance des conséquences économiques d'une régulation des prélèvements, tant au niveau de l'exploitation agricole qu'à l'échelle du territoire. A l'échelle individuelle, les incitations économiques associées au bonus-malus et à la sanction collective du contrat solidaire sont capables de modifier les comportements, comme l'ont suggéré les discussions des ateliers et montré nos expériences. Les instruments ont été évalués au regard de leurs impacts économiques indirects sur le fonctionnement économiques de l'exploitation (charge de travail supplémentaire, flexibilité, etc.) et à l'échelle du territoire (impact sur la compétitivité du territoire et l'économie locale). L'économie expérimentale a confirmé le fait que les

individus adaptent leur stratégie (en fonction du climat, des incitations économiques, du risque, etc.) pour augmenter leur revenu. Tous ces éléments démontrent l'importance des enjeux économiques (directs et indirects) dans la mise en place d'une régulation des prélèvements en eau. Cela met en évidence l'influence des motivations économiques dans la prise de décision de l'agriculteur quant à son prélèvement : l'eau est avant tout un intrant permettant de produire en quantité et/ou en qualité suffisantes pour assurer la rentabilité de l'exploitation, si bien que la décision de prélèvement est avant tout prise en considérant les coûts et les bénéfices associés à l'utilisation de la ressource en eau et ceux induits par les instruments de régulation.

Cependant, les ateliers comme les expériences ont mis en évidence que des considérations non économiques influencent les choix d'utilisation de la ressource en eau par les agriculteurs. L'existence de valeurs éthiques, environnementales et sociales influe sur les décisions individuelles des agriculteurs. Les ateliers ont permis d'identifier et qualifier les principes et les valeurs éthiques que les irrigants et les institutionnels souhaitent promouvoir dans la gestion de la ressource en eau. Par exemple, la plupart des acteurs locaux rejettent les instruments strictement financiers, préférant le recours à des moyens de régulation davantage basés sur une gestion collective. Les expériences ont mis en évidence l'influence de considérations environnementales et sociales dans le processus décisionnel de l'agent économiques, menant à l'adoption de comportement économiquement sous-optimaux : restriction spontanée du prélèvement en eau (considération environnementale et/ou morale selon les sujets), choix d'un gain moyen sous-optimal (pas de maximisation du profit), refus de la stratégie bonus (considération éthique), coopération spontanée (altruisme, réciprocité), démonstration de sa désapprobation (coûteuse) envers l'action des pairs (considération morale et norme sociale), etc.

Notre travail nous amène donc à considérer une fonction d'utilité étendue, constituée d'une composante économique (maximisation du gain individuel) et d'une composante non économique (motivations d'ordres éthique, environnemental, moral, social, etc.).

1^{ère} implication : L'élaboration de politiques publiques de régulation des prélèvements agricoles en eau souterraine pourra s'appuyer sur des incitations économiques ou des incitations exploitant les préférences sociales, éthiques et environnementales, ou bien sur les deux types d'incitations.

En effet, pour orienter la décision de l'irrigant vers la décision souhaitée par le régulateur, les incitations à mettre œuvre doivent altérer les paramètres de la fonction d'utilité de façon à ce qu'elle soit maximisée lorsque l'irrigant adopte le comportement souhaité. La fonction d'utilité de l'irrigant étant à deux composantes, les incitations peuvent exploiter l'une, l'autre ou les deux utilités pour modifier le comportement de l'irrigant, en utilisant des incitations économiques, sociales ou les deux à la fois.

Par ailleurs, les résultats, tant ceux issus des ateliers que ceux issus des expériences, suggèrent que les motivations économiques ont un poids plus important que les autres motivations dans la prise de décision de l'irrigant.

2^{ème} implication : Dans l'élaboration des politiques de régulation des prélèvements, le recours à des incitations économiques est essentiel car susceptible de modifier fortement le comportement des irrigants et augmenter la probabilité qu'ils prennent la décision souhaitée.

Enfin, nos résultats laissent penser que des instruments de régulation uniquement basés sur des incitations économiques peuvent générer des effets d'éviction : donner une valeur économique à un comportement pro-environnemental réduit la motivation intrinsèque de l'individu à l'adopter (Gneezy et Rustichini, 2000; Frey et Jegen, 2001; Bowles et Polania-Reyes, 2012). Cet effet traduit en fait une réduction de l'utilité non économique que l'irrigant retire de ce comportement. De même, les ateliers ont montré que l'acceptabilité de mécanismes purement économiques est susceptible d'être limitée. Cette faible acceptabilité réduit l'utilité non économique de l'individu : une décision qui augmenterait l'utilité économique ne serait pas en adéquation avec les principes éthiques, sociaux, environnementaux de l'individu. Par exemple, dans le bonus-malus, réduire son prélèvement pour recevoir un bonus permet d'augmenter son profit mais vient à l'encontre des valeurs éthiques et

déontologiques de l'agriculteur. Ainsi, l'effet d'une politique de régulation uniquement basée sur des incitations économiques peut avoir l'effet inverse à celui escompté.

3^{ème} implication : Pour réduire le risque que des incitations économiques aient l'effet inverse de celui attendu, elles doivent être associées à des incitations qui augmentent l'utilité non économique de l'irrigant, en exploitant ses préférences sociales, éthiques et environnementale. Par exemple, elles peuvent être insérées dans une politique de régulation globale qui promeut la gestion collective, la concertation, les échanges non monétaires de volumes, etc. Cela permettrait de renforcer chez les irrigants les sentiments de solidarité, de responsabilité, d'engagement pour l'environnement, etc., et ainsi accroître leur propension à adopter un comportement pro-environnemental.

1.2. Inefficacité des instruments en situation de sécheresse

Si, de manière générale, les instruments étudiés sont capables de réduire les prélèvements, ils ne suffisent pas à protéger la ressource en eau dans des conditions climatiques particulièrement sèches, la logique de maximisation du profit prévalant alors sur les autres considérations. Ainsi, dans les expériences, les prélèvements observés en année sèche se rapprochent des prélèvements maximisant le profit et s'éloignent des prélèvements autorisés. Dans les ateliers, les acteurs locaux assurent qu'en année sèche, le bonus-malus ne sera plus assez incitatif face aux enjeux économiques et que de fortes tensions risquent d'émerger entre agriculteurs signataires d'un contrat.

Se pose donc la question de la gestion des prélèvements en cas de pénurie conjoncturelle. Deux solutions émergent : (1) adapter les instruments différemment en fonction du climat afin de renforcer leur pouvoir incitatif en année climatique extrême (adaptation des montants des sanctions au climat, au débit des rivières, au niveau des nappes, etc.) ou (2) compléter les instruments de gestion structurelle par des instruments de gestion de crise.

1.3. Des incitations à adapter au contexte local

Les incitations doivent être adaptées aux situations locales (hydrogéologie, productions agricoles, économie locale, tissu social, etc.) qui influencent (1) la composante économique de l'utilité individuelle en déterminant l'environnement économique externe (prix des céréales, risque de maladies, filières aval, ...) et (2) l'intensité des interactions sociales et leur influence dans le modèle

décisionnel de l'irrigant (fréquence et intensité des interactions, importance de la réputation, sentiment d'appartenance à une communauté, etc.).

Adapter cette régulation peut se faire de deux façons : par le type d'incitation ou la combinaison d'incitations appliquées et par le pouvoir incitatif qu'on leur donne (l'adaptation des incitations, tel que le montant des sanctions). Par exemple, des incitations encourageant une gestion collective de l'eau seront à privilégier sur les bassins où les irrigants pratiquent déjà la gestion commune d'équipements ou d'intrants ; de même, l'utilisation d'incitations reposant sur des mécanismes sociaux, telles que la transparence des prélèvements, sera pertinente dans des contextes où les interactions sociales entre irrigants rendront le mécanisme de contrôle social effectif. A l'inverse, le recours à des incitations économiques sera privilégié pour réguler les prélèvements d'une communauté agricole caractérisée par un individualisme marqué. Le pouvoir incitatif peut aussi être adapté en fonction du contexte : en particulier, et comme cela a été démontré dans le chapitre 1, le montant des incitations économiques est à contrebalancer avec la force des mécanismes de contrôle social en action dans la société (plus ces mécanismes seront puissants, plus les incitations économiques pourront être faibles).

La mise en place d'instruments de régulation des prélèvements en eau qui soient adaptés aux spécificités locales nécessite l'intervention des acteurs locaux mettant leur expertise au service de leur élaboration. La prochaine section examine dans quelles mesures nos instruments pourraient s'insérer dans une gestion décentralisée et les potentialités d'une telle régulation en France.

1.4. Enjeux d'une gestion décentralisée

Le point de départ de notre travail est le contexte français de réforme de la gestion de l'eau d'irrigation, qui oriente la politique française vers une décentralisation des missions de régulation des prélèvements agricoles en eau à des organismes locaux, les OUGC. Implicitement, les instruments proposés dans cette thèse sont conçus pour être insérés dans ces systèmes de gestion décentralisée.

A ce propos, les résultats des ateliers et des expériences nous donnent quelques éléments d'évaluation de ce mode de coordination. Les avantages d'une gestion par les usagers résident dans la confiance que ceux-ci placent dans le système (cas d'un bonus-malus géré par l'OUGC contre un

système de pénalité géré par les services de l'Etat) et dans l'expertise qu'ils peuvent apporter pour construire des instruments de régulation adaptés et incitatifs (dans les ateliers, un participant commente : « on connaît les usages et les valeurs marginales, on saura faire »). La gestion locale implique une communication entre usagers et une concertation sur les besoins et les usages qui ont déjà démontrés leur intérêt dans la gestion des ressources communes. Notre expérience d'économie montre que les individus sont prêts à coopérer lorsqu'ils sont placés dans les conditions de gestion commune : interdépendance des profits, dévoilement des prélèvements, menace de sanction collective, etc. Enfin, une gestion par les usagers renforcera le sentiment d'appartenance à une communauté et par conséquent les mécanismes de contrôle social, favorisant ainsi le respect des règles édictées.

2. Apport méthodologique de la thèse

Le travail de thèse a utilisé une méthodologie originale, couplant deux méthodes d'évaluation aux positionnements théoriques différents mais dont les résultats sont complémentaires. Nous revenons ici sur les intérêts et les limites d'une telle approche.

2.1. Intérêts et limites de l'implication des acteurs dans la démarche d'évaluation

2.1.1. Une implication nécessaire pour une évaluation robuste

Les résultats de nos travaux confirment l'intérêt de l'implication des acteurs locaux dans les processus d'évaluation ex ante des politiques publiques. Les ateliers ont montré leur capacité à s'approprier un scénario prospectif et à porter un jugement sur ses implications. Les participants ont spontanément utilisé plusieurs critères d'évaluation des instruments qui leur étaient proposés, dont l'efficacité, la faisabilité et l'acceptabilité. Ils identifient des éléments de contexte qui pourront s'avérer déterminants dans la réussite d'une politique de régulation.

Dans les expériences, leur comportement diffère des autres populations : ils ne s'approprient pas totalement les règles du jeu et le raisonnement purement économique sous-jacent mais y intègrent des éléments de leur propre contexte, les amenant à prendre en compte, dans leur décision finale, des considérations extérieures au jeu. Capturer ces éléments, en les identifiant dans les débriefings, nous

permet d'approfondir le modèle décisionnel sous-jacent à la construction de nos instruments économiques.

2.1.2. Difficultés à engager les acteurs dans la démarche

L'implication des acteurs peut s'avérer plus ou moins facile selon les contextes. Nous avons travaillé dans deux configurations. Dans la première, nous pouvions nous appuyer sur un relai local pour solliciter et motiver les agriculteurs à participer (ADIV sur le bassin du Clain, Chambres d'Agriculture dans la Drôme et l'Aisne). Dans la seconde, les institutionnels et représentants agricoles rencontrés sur le terrain ont partiellement joué ce rôle, principalement pour des raisons politiques, le constat de la surexploitation de la nappe n'étant pas partagée entre administration et usagers (cas du Tarn-et-Garonne et de l'Est Lyonnais). Cette configuration a rendu le travail d'engagement des agriculteurs plus difficile. Dans le Tarn-et-Garonne, seulement 25% des agriculteurs contactés ont accepté de participer. Les refus sont motivés par un désintérêt pour la problématique de gestion de l'eau, une suspicion par rapport à la démarche (risque d'être instrumentés), le sentiment de ne pas être compétent pour participer à un tel débat ou encore l'idée que c'est aux représentants officiels des agriculteurs de s'exprimer (Rinaudo, Moreau, *et al.*, à paraître).

2.1.3. Limites des expériences avec les acteurs locaux

Même si l'implication d'acteurs locaux dans les expériences a démontré son intérêt pour affiner et comprendre les processus décisionnels de l'agriculteur en matière de prélèvement en eau, elle se heurte tout de même à quelques limites.

Une limite sur laquelle il est intéressant de revenir est que les sujets de terrain ne semblent pas être aussi motivés par les gains que les sujets standards. Ceci peut constituer un problème puisque la rémunération constitue le paramètre expérimental censé annihiler le biais hypothétique en rendant l'enjeu réel et en incitant les sujets à se comporter dans le jeu comme ils le feraient dans la réalité. Par exemple, dans le débriefing, certains disent avoir « rompu le contrat pour tester le jeu, voir ce que ça faisait » : leurs décisions dans le jeu ne sont donc pas uniquement motivées par le gain. Cependant, cette limite est compensée par le fait que, comme le montrent les débriefings, les agriculteurs se sont totalement appropriés le jeu, en y intégrant même des éléments de leur propre contexte. Même avec un

gain hypothétique, ils adoptent spontanément un comportement de prélèvement proche de celui qu'ils ont dans la réalité.

En revanche, les institutionnels constituent une population présentant des stratégies très variables. Leurs décisions ne sont que faiblement influencées par le gain économique (hypothétique du jeu ou réel de la rémunération) et qu'ils substituent par une motivation environnementale voire déontologique : « il y a un prédéterminisme par rapport à notre fonction. Je me suis obligée à respecter mon autorisation ». Ils adoptent alors un comportement très éloigné de la réalité d'un exploitant agricole. Les résultats montrent qu'ils sont davantage sensibles à la question environnementale, allant parfois jusqu'à réinterpréter les règles du jeu pour instaurer de la coopération artificielle entre les joueurs.

2.1.4. Une démarche appréciée par les participants

Un an après les ateliers, en janvier 2013, à l'occasion des réunions de restitution des résultats des ateliers, nous avons soumis aux participants un questionnaire d'évaluation afin de recueillir leurs avis sur la démarche. Au total, 56 participants, dont 38 agriculteurs et 19 institutionnels, ont répondu aux questionnaires, notant de 1 à 5 six propositions sur la démarche. Ils sont 65% à attribuer un 4 ou un 5 à la question « *La participation aux ateliers a-t-elle permis de faire progresser votre réflexion personnelle ?* » et 56% à la question « *Les ateliers ont-ils fait émerger des idées nouvelles qui mériteraient d'être débattues par les acteurs de la gestion locale de l'eau ?* ». Les ateliers ont donc permis d'alimenter tant les réflexions personnelles que collectives des participants sur la gestion de l'eau souterraine sur leurs bassins. Concernant la prise de parole permise par les ateliers, les participants ont senti une vraie liberté de parole (81% de 4 ou 5), mais avec une emprise limitée sur l'orientation des débats (49% de 1, 2 ou 3). Ceci est intrinsèque à la méthodologie, qui repose sur des scénarios choisis et élaborés à l'avance, dont la narration sous forme d'articles de presse fictifs a été appréciée comme un bon support de débat, puisque 77% des participants estiment qu'ils ont facilité la discussion. Enfin, 90% des répondants conseilleraient à des collègues irrigants de participer à une telle démarche.

De même, les débriefings des expériences ont été l'occasion pour les participants de s'exprimer sur la démarche expérimentale. Certains sont convaincus du caractère pédagogique de ce type de méthodes, en particulier pour accroître le niveau de conscience des irrigants et institutionnels sur l'interdépendance des usagers, ainsi que sur les impacts économiques individuels et agrégés d'une politique de régulation.

2.2. La combinaison des deux méthodes d'évaluation : intérêts et limites

Les ateliers permettent de produire une matière qualitativement riche mais difficile à traiter: (1) par le fait que l'évaluation porte sur plusieurs dimensions (efficacité, justice sociale, légitimité technique et institutionnelle, évaluation des impacts à l'échelle de l'exploitation et du territoire, etc.) et (2) parce que l'évaluation est répétée sur une diversité de terrains. Ils reposent sur le recueil d'opinions parfois biaisées par la volonté des participants d'orienter les résultats du travail de recherche (biais stratégique) ou par le caractère fictif des scénarios discutés (biais hypothétique).

Ces limites sont compensées par la capacité de l'économie expérimentale à produire des mesures chiffrées et objectives des changements de comportements qui étaient seulement caractérisés de façon qualitative dans les ateliers. Le biais hypothétique est réduit d'une part par la rémunération et par l'appropriation du jeu par les agriculteurs, qui permettent de capturer des comportements proches des comportements réels. Le biais stratégique est lui limité par le caractère très contraint du jeu, la relative simplicité des décisions à prendre (choisir un niveau de prélèvement) et la difficulté des sujets à anticiper les résultats qui peuvent être tirés de l'expérience.

Mais la portée de l'économie expérimentale est limitée par la nécessité de contrôler des paramètres expérimentaux, qui exige la construction d'un protocole simple. En particulier, le contrat solidaire est très schématisé dans l'expérience et ne sont testés que les mécanismes économiques de l'instrument, sans prendre en compte la dimension sociale et les mécanismes de communication, de gestion collective, d'échanges et d'arrangements sur les volumes. Les débriefings et les questionnaires montrent que les sujets de terrain regrettent de ne pas avoir eu la possibilité de communiquer entre eux. La validité externe de l'expérience en est par conséquent affectée.

Cette validité externe limitée est compensée par les ateliers, qui permettent de compléter les expériences avec des éléments contextuels qui sont difficilement à capter par les expériences, telles que l'acceptabilité, la faisabilité, etc.

La combinaison des deux méthodes permet donc que les limites de l'une soient compensées par les forces de l'autre. Pour améliorer la méthodologie, un processus itératif pourrait permettre d'améliorer les instruments au fur et à mesure du déploiement de la méthodologie, en intégrant les critiques et propositions d'améliorations issus des débats des ateliers pour augmenter leur efficacité avant de la mesurer par l'économie expérimentale.

3. Perspectives de recherche

Ce travail de recherche pourra être approfondi en explorant trois axes principaux : (1) de nouvelles combinaisons d'incitations, (2) des méthodes d'évaluation complémentaires et (3) les conditions d'une gestion décentralisée.

Le premier concerne les instruments de régulation des prélèvements et plus particulièrement les incitations à mobiliser pour construire des instruments efficaces. Notre travail met en évidence la coexistence de deux types de motivation chez l'individu permettant de considérer une fonction d'utilité individuelle constituée d'une composante économique et d'une composante non économique. Si nos résultats semblent suggérer que la première pèse davantage que la seconde dans le processus décisionnel de l'individu, il serait intéressant de confirmer ce résultat et de pouvoir mesurer plus précisément le poids respectif de chacune d'elles.

Pour évaluer le potentiel d'efficacité des incitations sociales et leur poids dans l'utilité de l'individu, il serait opportun de proposer un instrument de régulation ne reposant que sur des incitations non économiques et d'évaluer son efficacité, son acceptabilité et sa faisabilité, de façon à le comparer aux deux instruments considérés dans la thèse. Ce travail a été commencé dans les ateliers, en proposant un scénario alternatif, basé sur une possibilité de concertation pour réallouer les quotas initiaux et sur une transparence sur les prélèvements individuels. Mais nous ne l'avons pas testé par

l'économie expérimentale, ce qui aurait permis de le comparer avec les deux autres instruments et de mesurer l'efficacité des incitations sociales et la pertinence de leur utilisation seule dans une politique de régulation des prélèvements.

Le deuxième axe de travail porterait sur les méthodes d'évaluation. Nous avons vu que la simulation du contrat solidaire en économie expérimentale s'est heurtée aux limites de cette méthode, nous obligeant à ne tester de l'instrument que les mécanismes économiques et à délaisser les mécanismes sociaux, en particulier de la concertation via la communication entre sujets. Une expérience autorisant la communication entre les sujets pourrait être proposée pour mesurer l'effet d'une concertation préalable sur les prélèvements. D'autres méthodes d'évaluation pourraient s'avérer plus appropriées pour simuler cet instrument de gestion, comme les jeux de rôles. En relâchant les contraintes de contrôle des paramètres de simulation, les jeux de rôles offrent la possibilité de tester des politiques de gestion où l'interaction entre sujets joue un rôle essentiel. Cette méthode permet aux sujets d'expérimenter un instrument de gestion et d'appréhender rapidement ses impacts à l'échelle d'un bassin au travers de l'interaction avec les autres sujets représentant d'autres usagers et d'autres intérêts.

Dans les ateliers, il serait intéressant d'adopter une méthode plus interactive pour offrir aux participants la possibilité de proposer les instruments de gestion qui leur paraissent à la fois efficaces, acceptables et adaptés à leur contexte. Pour cela, des techniques comme les *policy exercises* peuvent être mobilisées : sur plusieurs séances consécutives, les participants sont invités à orienter la construction des scénarios par les chercheurs en donnant leur avis et décidant collégialement de l'orientation à prendre. De telles méthodes nécessitent un investissement à moyen terme sur le terrain, ce qui limite la répétition sur plusieurs sites d'étude.

Le troisième et dernier axe de réflexion s'inscrit davantage dans le courant de l'économie institutionnelle et porte sur les conditions de mise en œuvre des instruments, en particulier dans un contexte de gestion décentralisée. Notre travail a permis de mettre en évidence des conditions locales dans lesquelles les deux instruments sont susceptibles de produire les meilleurs résultats. Or, suite à la

réforme de la gestion de l'eau d'irrigation en France, les conditions institutionnelles vont évoluer. Les instruments seront-ils adaptés à ce contexte changeant ? En quoi les modalités de fonctionnement des OUGC impacteront l'élaboration des instruments de gestion ? Cette gestion décentralisée offre-t-elle l'opportunité aux usagers de concevoir des instruments de gestion nouveaux et adaptés à leurs contraintes ? Répondre à ces questions serait possible par une étude de cas sur un ou plusieurs sites où un organisme unique est en cours de mise en place, en couplant à nouveau méthodes participatives et expérimentales.

Références bibliographiques

- Agrawal, A.**, 2001. *Common property institutions and sustainable governance of resources*, World Development, volume 29, n°10, 1649-1672.
- Ambec, S., Amigues, J.-P., Reynaud, A. et Salanié, F.**, 2012. *Quels instruments pour la gestion quantitative de l'eau? Une analyse économique*, Agronomie, Environnement et Sociétés, volume 2, n°2, 29-43.
- Ambec, S., Garapin, A., Muller, L., Reynaud, A. et Sebi, C.**, 2013. *Comparing Regulations to Protect the Commons: An Experimental Investigation*, Environmental and Resource Economics, volume 58, n°2, 219-244.
- 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, volume 70, n°9, 1571-1579.
- Aoki, M.**, 2006. *Fondements d'une analyse institutionnelle comparée*, Editions Albin Michel, 604 p.
- Arnstein, S.R.**, 1969. *A Ladder Of Citizen Participation*, Journal of the American Institute of Planners, volume 35, n°4, 216-224.
- Baland, J.M. et Platteau, J.P.**, 1996. *Halting Degradation of Natural Resources: Is There a Role for Rural Communities?*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, p.
- Bardsley, N., Cubitt, R., Loomes, G., Moffatt, P., Starmer, C. et Sugden, R.**, 2009. *Experimental Economics: Rethinking the Rules*, Princeton University Press, p.
- Beal, C.D. et Flynn, J.F.J.**, 2015. *Toward the digital water age: Survey and case studies of Australian water utility smart-metering programs*, Utilities Policy, volume 32, n°29-37,
- Beierle, T.C.**, 2002. *The quality of stakeholder- based decisions*, Risk analysis, volume 22, n°4, 739-749.
- Biggs, S.**, 1989. *Resources-poor Farmer Participation in Research: A Synthesis of Experiences from Nine National Agricultural Research Systems*, International Service for National Agricultural Research, p.
- Blackstock, K., Kelly, G. et Horsey, B.**, 2007. *Developing and applying a framework to evaluate participatory research for sustainability*, Ecological Economics, volume 60, n°4, 726-742.
- Blomquist, W., Schlager, E. et Heikkila, T.**, 2010. *Common Waters, Diverging Streams: Linking Institutions and Water Management in Arizona, California, and Colorado*, Resources for the Future Press, Washington, 216 p.
- Bochet, O., Page, T. et Putterman, L.**, 2006. *Communication and punishment in voluntary contribution experiments*, Journal of Economic Behavior & Organization, volume 60, n°1, 11-26.
- Bourgeois, P.**, 2011. *Organismes Uniques de Gestion Collective*, La gestion collective de la ressource en eau pour l'irrigation et les Associations Syndicales Autorisées, Montpellier, 08 novembre 2011, 45 p.
- Bowles, S.**, 2008. *Policies Designed for Self-Interested Citizens May Undermine 'The Moral Sentiments' Evidence from Economic Experiments*, Science, volume 320, n°5883, 1605-1609.
- Bowles, S. et Polania-Reyes, S.**, 2012. *Economic Incentives and Social Preferences: Substitutes or Complements?*, Journal of Economic Literature, volume 50, n°2, 368-425.
- Campardon, M., Loubier, S. et Morardet, S.**, 2012. *L'irrigation en France - Etat des lieux 2010 et évolution*, Irstea - Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt, 58 p.
- Cardenas, J.-C.**, 2004. *Norms from outside and from inside: an experimental analysis on the governance of local ecosystems*, Forest Policy and Economics, volume 6, n°3-4, 229-241.

- Cardenas, J.-C., Janssen, M. et Bousquet, F.**, 2008. *Dynamics of rules and resources: three new field experiments on water, forests and fisheries*, Handbook on experimental economics and the environment, volume
- Cardenas, J.C.**, 2011. *Social Norms and Behavior in the Local Commons as Seen Through the Lens of Field Experiments*, Environmental & Resource Economics, volume 48, n°3, 451-485.
- Cason, T.N., Gangadharan, L. et Duke, C.**, 2003. *A laboratory study of auctions for reducing non-point source pollution*, Journal of Environmental Economics and Management, volume 46, n°3, 446-471.
- Changming, L., Jingjie, Y. et Kendy, E.**, 2001. *Groundwater exploitation and its impact on the environment in the North China Plain*, Water International, volume 26, n°2, 265-272.
- Charness, G.**, 2010. *Laboratory experiments: Challenges and promise: A review of "Theory and Experiment: What are the Questions?" by Vernon Smith*, Journal of Economic Behavior & Organization, volume 73, n°1, 21-23.
- Coglianesi, C.**, 1999. *The limits of consensus: the environmental protection system in transition: Toward a more desirable future*, Environment: Science and Policy for Sustainable Development, volume 41, n°3, 28-33.
- Collins, A.R. et Maille, P.**, 2011. *Group decision-making theory and behavior under performance-based water quality payments*, Ecological Economics, volume n°70, 806-812.
- Cornwall, A. et Jewkes, R.**, 1995. *What is participatory research?*, Social Science and Medicine, volume 41, n°12, 1667-1676.
- Croson, R. et Gächter, S.**, 2010. *The science of experimental economics*, Journal of Economic Behavior & Organization, volume 73, n°1, 122-131.
- Custodio, E.**, 2002. *Aquifer overexploitation: what does it mean?*, Hydrogeology Journal, volume 10, n°2, 254-277.
- Czap, N.V., Czap, H.J., Khachatryan, M., Lynne, G.D. et Burbach, M.**, 2012. *Walking in the shoes of others: Experimental testing of dual-interest and empathy in environmental choice*, The Journal of Socio-Economics, volume 41, n°5, 642-653.
- d'Adda, G.**, 2011. *Motivation crowding in environmental protection: Evidence from an artefactual field experiment*, Ecological Economics, volume 70, n°11, 2083-2097.
- DEFRA**, 2013. *Making the Most of Every Drop : Consultation on Reforming the Water Abstraction Management System* F. a. R. A. Department for Environment, 68 p.
- Désolé, M., Farolfi, S. et Rio, P.**, 2012. *How does context influence players' behavior? Experimental assessment in a 3-player coordination problem*, Document de recherche, Laboratoire montpelliérain d'économie théorique et appliquée, 29 p.
- Easter, K.W. et Huang, Q.**, 2014. *Water Markets for the 21st Century: What Have We Learned?*, Springer, p.
- Ehrhart, K.-M., Hoppe, C., Schleich, J. et Seifert, S.**, 2005. *The role of auctions and forward markets in the EU ETS: counterbalancing the cost-inefficiencies of combining generous allocation with a ban on banking*, Climate Policy, volume 5, n°1, 31-46.
- FAO**, 2003. *Groundwater management : the search for practical approaches.*, p.
- Fehr, E. et Fischbacher, U.**, 2002. *Why social preferences matter – The impact of non-selfish motives on competition, cooperation and incentives*, The Economic Journal, volume 112, n°478, C1-C33.
- Fehr, E. et Gächter, S.**, 2000. *Cooperation and Punishment in Public Good Experiments*, The American Economic Review, volume 90, n°4, 980-993.
- Fiinen, M. et Arshad, M.**, 2015. *The International Scale of the Groundwater Issue*, in Integrated groundwater management, A. Jakeman, O. Barreteau, R. Hunt, J. Rinaudo et A. Ross, Springer,

- Figureau, A.-G., Montginoul, M. et Rinaudo, J.-D.**, 2012. *Gestion quantitative de l'eau d'irrigation en France : bilan de l'application de la loi sur l'eau et les milieux aquatiques de 2006*, 50 p.
- Figureau, A.-G., Montginoul, M. et Rinaudo, J.-D.**, 2014. *Scénarios de régulation décentralisée des prélèvements agricoles en eau souterraine - Évaluation participative dans le bassin du Clain*, Economie Rurale, volume n°342, 27-44.
- Fischer, F.**, 2000. *Citizens, experts, and the environment: The politics of local knowledge*, Duke University Press, p.
- Frey, B.**, 2012. *Crowding Out and Crowding In of Intrinsic Preferences*, in Reflexive Governance for Global Public Goods, T. D. a. B. S. Erice Brousseau, Massachusetts Institute of technology,
- Gardner, R., Moore, M.R. et Walker, J.M.**, 1997. *Governing a groundwater commons : a strategic and laboratory analysis of western water law*, Economic Inquiry, volume XXXV, 218-234.
- Garrido, A., Martinez-Santos, P. et Llamas, M.R.**, 2005. *Groundwater irrigation and its implications for water policy in semiarid countries : the Spanish experience*, Hydrogeology Journal, volume n°14, 340-349.
- Garrido, A., Rey, D. et Calatrava, J.**, 2012. *Water trading in Spain*, in Water, Agriculture and the Environment in Spain: can we square the circle? , L. De Stefano et M. R. Llamas, Botín Foundation, 205-216
- Giordana, G.**, 2007. *Expérimentation d'instruments fiscaux pour gérer l'exploitation des aquifères côtiers*, thèse de doctorat, Université Montpellier I, 347 p.
- Gleyses, G. et Rieu, T.**, 2004. *L'irrigation en France - Etat des Lieux 2000 et évolution*, Cemagref, 60 p.
- Gneezy, U. et Rustichini, A.**, 2000a. *A Fine Is a Price*, The Journal of Legal Studies, volume 29, n°1, 1-17.
- Gneezy, U. et Rustichini, A.**, 2000b. *Pay Enough or Don't Pay at All*, The Quarterly Journal of Economics, volume 115, n°3, 791-810.
- Grafton, R.Q., Libecap, G., McGlennon, S., Landry, C. et O'Brien, B.**, 2011. *An Integrated Assessment of Water Markets: A Cross-Country Comparison*, Review of Environmental Economics and Policy, volume 5, n°2, 219-239.
- Hammani, A., Hartani, T., Kuper, M. and Imache, A.**, 2009. *Paving the way for groundwater management : transforming information for crafting management rules*, Irrigation and Drainage, volume n°58, 240-251.
- Hanak, H.**, 2002. *California's water markets, By the numbers*, Public Policy Institute of California 36 p.
- Hardin, G.**, 1968. *The Tragedy of the Commons*, Science, volume 162, 1243-1248.
- Harrison, G.W. et List, J.A.**, 2004. *Field Experiments*, Journal of Economic Literature, volume 42, n°December 2004, 1009-1055.
- Hatzilacou, D., Kallis, G., Mexa, A., Coccosis, H. et Svoronou, E.**, 2007. *Scenario workshops: A useful method for participatory water resources planning?*, Water Resources Research, volume 43, n°6, W06414.
- Hearne, R.R. et Donoso, G.**, 2005. *Water institutional reforms in Chile*, Water Policy, volume n°7, 53-69.
- Hey, J.D., Neugebauer, T. et Sadrieh, A.**, 2009. *An Experimental Analysis of Optimal Renewable Resource Management: The Fishery*, Environmental & Resource Economics, volume 44, n°2, 263-285.

- Isik, H.B. et Sohngen, B.**, 2003. *Performance-based voluntary group contracts for nonpoint source pollution*, American Agricultural Economics Association Annual Meeting, Montreal,
- Kerr, J., Vardhan, M. et Jindal, R.**, 2012. *Prosocial behavior and incentives: Evidence from field experiments in rural Mexico and Tanzania*, Ecological Economics, volume 73, n°0, 220-227.
- Kuper, M., Faysse, N., Hammani, A., Hartani, T., Marlet, S., Hamamouche, F. et Ameer, F.**, in press. *Liberation or anarchy? The janus nature of groundwater use on north africa's new irrigation frontiers*, in Integrated Groundwater Management, T. Jakeman, O. Barreteau, R. Hunt, J. Rinaudo et A. Ross, Springer, Accepté,
- Larabi, Z., Guyader, O., Macher, C. et Daurès, F.**, 2013. *Quota management in a context of non-transferability of fishing rights: The French case study*, Ocean & Coastal Management, volume 84, n°0, 13-22.
- Lenouvel, V.**, 2011. *Gestion économique d'une ressource commune sous hypothèses d'information imparfaite et de substituabilité*, thèse de doctorat, Montpellier SupAgro, 311 p.
- 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 withdrawals*, Annual Conference of European Association of Environmental and Resource Economists, Rome, Italy, 2011-06-29, 23 p.
- Levitt, S.D. et List, J.A.**, 2007. *What Do Laboratory Experiments Measuring Social Preferences Reveal About the Real World?*, Journal of Economic Perspectives, volume 21, n°2, 153-174.
- List, J.A.**, 2005. *The Behavioralist Meets the Market: Measuring Social Preferences and Reputation Effects in Actual Transactions*, NBER Working Paper Series, N. a. t. U. o. Chicago, 53 p.
- List, J.A.**, 2009. *An introduction to field experiments in economics*, Journal of Economic Behavior & Organization, volume 70, n°3, 439-442.
- List, J.A., Sadoff, S. et Wagner, M.**, 2011. *So you want to run an experiment, now what? Some simple rules of thumb for optimal experimental design*, Experimental Economics, volume 14, n°4, 439-457.
- Llamas, M.R. et Martinez-Santos, P.**, 2005. *Intensive Groundwater Use : Silent Revolution and Potential Source of Conflicts*, Journal of Water Resources Planning and Management, volume n°Sept-Oct 2005, 337-341.
- Lopez-Gunn, E.**, 2003. *The Role of Collective Action in Water Governance : A Comparative Study of Groundwater User Associations in La Mancha Aquifers in Spain*, Water International, volume 28, n°3, 367-378.
- Lopez-Gunn, E. et Martinez-Cortina, L.**, 2006. *Is self-regulation a myth? Case study on Spanish groundwater user associations and the role of higher-level authorities*, Hydrogeology Journal, volume 14, 361-379.
- Luchini, S. et Watson, V.**, 2014. *Are choice experiments reliable? Evidence from the lab*, Economics Letters, volume 124, n°1, 9-13.
- Lynne, G.D.**, 1999. *Divided self models of the socioeconomic person: the metaeconomics approach*, The Journal of Socio-Economics, volume 28, n°3, 267-288.
- Maestu, J.**, 2013. *Water Trading and Global Water Scarcity: International Experiences*, RFF Press, p.
- Martín de Santa Olalla, F., Calera, A. et Domínguez, A.**, 2003. *Monitoring irrigation water use by combining Irrigation Advisory Service, and remotely sensed data with a geographic information system*, Agricultural Water Management, volume 61, 111-124.
- Masclet, D., Noussair, C., Tucker, S. et Villeval, M.-C.**, 2003. *Monetary and Nonmonetary Punishment in the Voluntary Contributions Mechanism*, The American Economic Review, volume 93, n°1, 366-378.

- Montginoul, M., Rinaudo, J.-D., Brozovic, N. et Donoso, G.**, in press. *Controlling groundwater exploitation through economic instruments: current practices, challenges and innovative approaches*, in *Integrated Groundwater Management*, T. Jakeman, O. Barreteau, R. Hunt, J. Rinaudo et A. Ross, Springer,
- Moreno-Sánchez, R.d.P. et Maldonado, J.H.**, 2010. *Evaluating the role of co-management in improving governance of marine protected areas: An experimental approach in the Colombian Caribbean*, *Ecological Economics*, volume 69, n°12, 2557-2567.
- Mukherji, A.**, 2006. *Political ecology of groundwater: the contrasting case of water-abundant West Bengal and water-scarce Gujarat, India*, *Hydrogeology Journal*, volume 14, n°3, 392-406.
- Murphy, J.J. et Cardenas, J.C.**, 2004. *An experiment on enforcement strategies for managing a local environment resource*, *The Journal of Economic Education*, volume 35, n°1, 47-61.
- Newig, J.**, 2007. *Does public participation in environmental decisions lead to improved environmental quality*, CCP (Communication, Cooperation, Participation. Research and Practice for a sustainable Future), volume 1, 51-71.
- Okali, C., Sumberg, J. et Farrington, J.**, 1994. *Farmer participatory research: rhetoric and reality*, Intermediate Technology Publications Ltd, p.
- Ostrom, E.**, 1990. *Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action*, Cambridge University Press, p.
- Ostrom, E.**, 2000. *Collective Action & the Evolution of Social Norms*, *Journal of Economic Perspectives*, volume 14, n°3, 137-158.
- Ostrom, E. et Gardner, R.**, 1993. *Coping with Asymmetries in the Commons : Self-Governing Irrigation Systems Can Work*, *Journal of Economic Perspectives*, volume 7, n°4, 93-112.
- Pain, R.**, 2004. *Social geography: participatory research*, *Progress in human geography*, volume 28, 652-663.
- Ploner, M.**, 2012. *Book Review : Experimental Economics: Rethinking the Rules, N. Bardsley, R. Cubitt, G. Loomes, P. Moffatt, C. Starmer, R. Sugden.*, 693-694 p.
- Pons, M.**, 2013. *Evaluation économique et environnementale des mesures de limitation ou de suspension des usages de l'eau en situation de sécheresse*, thèse de doctorat, AgroParisTech, 69 p.
- Qureshi, M.E., Shi, T., Qureshi, S.E. et Proctor, W.**, 2009. *Removing barriers to facilitate efficient water markets in the Murray-Darling Basin of Australia*, *Agricultural Water Management*, volume 96, n°11, 1641-1651.
- Rapoport, A. et Au, W.T.**, 2001. *Bonus and Penalty in Common Pool Resource Dilemmas under Uncertainty*, *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, volume 85, n°1, 135-165.
- Reed, M.S.**, 2008. *Stakeholder participation for environmental management: a literature review*, *Biological conservation*, volume 141, n°10, 2417-2431.
- Reed, M.S., Fraser, E.D. et Dougill, A.J.**, 2006. *An adaptive learning process for developing and applying sustainability indicators with local communities*, *Ecological Economics*, volume 59, n°4, 406-418.
- Reed, M.S., Graves, A., Dandy, N., Posthumus, H., Hubacek, K., Morris, J., Prell, C., Quinn, C.H. et Stringer, L.C.**, 2009. *Who's in and why? A typology of stakeholder analysis methods for natural resource management*, *Journal of Environmental Management*, volume 90, n°5, 1933-1949.
- Rinaudo, J.-D., Berbel, J., Bouscasse, H., Calatrava, J., Duponteil, A., Giannocarro, G., Garrido, A., Figureau, A.-G., Hérivaux, C., Kervarec, F., Montginoul, M., Raggi, M., Rey, D., Vernier, M., Viaggi, D. et Zavalloni, M.**, 2014. *Water markets scenarios for southern Europe: new solutions for coping with increasing water scarcity and drought risk?*, *Water Cap and Trade - IWRM-NET*, 76 p.

- Rinaudo, J.-D. et Strosser, P.**, 2008. *Groundwater management and planning : how can economics help?*, in *Groundwater Science and Policy: An International Overview*, Royal Society of Chemistry, London, 58-81
- Rinaudo, J.D., Montginoul, M., Varanda, M. et Bento, S.**, 2012. *Envisioning innovative groundwater regulation policies through scenario workshops in France and Portugal*, *Irrigation and Drainage*, volume 61, n°S1, 65-74.
- Rodriguez-Sickert, C., Guzman, R.A. et Cardenas, J.C.**, 2008. *Institutions influence preferences: Evidence from a common pool resource experiment*, *Journal of Economic Behavior & Organization*, volume 67, n°1, 215-227.
- Romstad, E.**, 2003. *Team approaches in reducing nonpoint source pollution*, *Ecological Economics*, volume 47, n°1, 71-78.
- Rose, C.M.**, 2002. *Common Property, Regulatory Property and Environmental Protection : Comparing Community-Based Management to Tradable Environmental Allowances*, in *The Drama of the Commons*, T. D. Elinor Ostrom, Nives Dolsak, Paul C. Stern, Susan Stonich and Elke U. Weber, National Academy Press, Washington, DC, 233-257
- Ross, A. et Martinez-Santos, P.**, 2009. *The challenge of groundwater governance: case studies from Spain and Australia*, *Regional Environmental Change*, volume 10, n°4, 299-310.
- Schilizzi, S. et Latacz-Lohmann, U.**, 2007. *Assessing the Performance of Conservation Auctions: An Experimental Study*, *Land Economics*, volume 83, n°4, 497-515.
- Schlager, E.**, 2006. *Challenges of Governing Groundwater in U.S. Western States*, *Hydrogeology Journal*, volume 14, 350 - 360.
- Schlager, E. et Lopez-Gunn, E.**, 2005. *Collective systems for water management : is the Tragedy of the Commons a myth?*, in *Water Crisis : Myth or Reality?*, Taylor and Francis, 44-58
- Sefton, M., Shupp, R. et Walker, J.M.**, 2007. *The effect of rewards and sanctions in provision of public goods*, *Economic Inquiry*, volume 45, n°4, 671-690.
- Segerson, K.**, 1988. *Uncertainty and Incentives for NonPoint Pollution Control*, *Journal of Environmental Economics and Management*, volume 15, 87-98.
- Serra, D.**, 2012. *Un aperçu historique de l'économie expérimentale : des origines aux évolutions récentes*, *Revue d'économie politique*, volume 122, 749-786.
- Shah, T.**, 2008. *Taming the Anarchy: Groundwater Governance in South Asia*, Taylor & Francis, p.
- Shah, T.**, 2012. *Community response to aquifer development : distinct patterns in India's alluvial and hard rock aquifer areas* *Irrigation and Drainage*, volume 61, 14-25.
- Shah, T., Roy, A.D., Qureshi, A.S. et Wang, J.X.**, 2003. *Sustaining Asia's groundwater boom: An overview of issues and evidence*, *Natural Resources Forum*, volume 27, n°2, 130-141.
- Smith, V.L.**, 2010. *Theory and experiment: What are the questions?*, *Journal of Economic Behavior & Organization*, volume 73, n°1, 3-15.
- Stoneham, G., Chaudhri, V., Ha, A. et Strappazzon, L.**, 2003. *Auctions for conservation contracts: an empirical examination of Victoria's BushTender trial*, *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, volume 47, n°4, 477-500.
- Studer, N., Brocas, A.-M., de, i., Fouquet, A., Duflo, E., Crépon, B., Givord, P., Moisdon, J.-C., Genin, H., Fenet, F., Daniel, A., Ortis, S., Brunetière, J.-R. et Engsted-Maquet, I.**, 2010. *Méthodes d'évaluation des politiques publiques*, *Méthodes d'évaluation des politiques publiques*, Paris, 129 p.
- Tavoni, A., Schlüter, M. et Levin, S.**, 2012. *The survival of the conformist: Social pressure and renewable resource management*, *Journal of Theoretical Biology*, volume 299, 152-161.

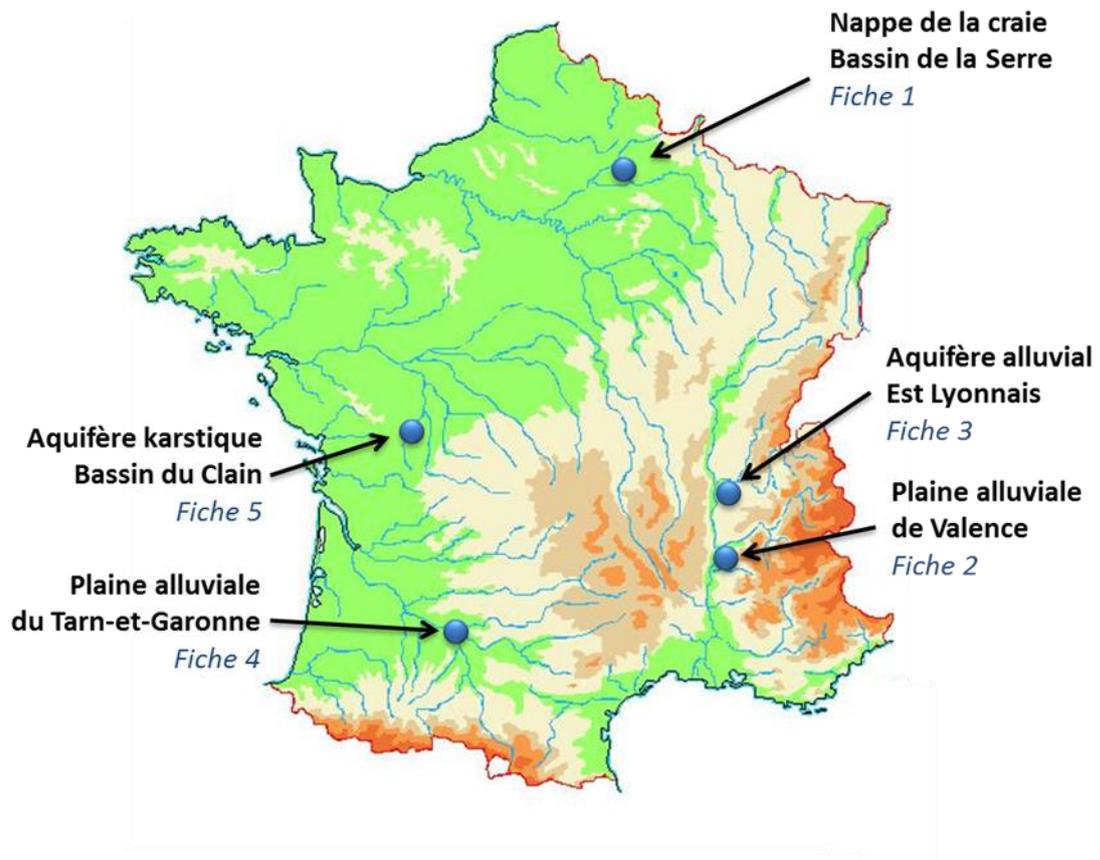
- Travers, H., Clements, T., Keane, A. et Milner-Gulland, E.J.**, 2011. *Incentives for cooperation: The effects of institutional controls on common pool resource extraction in Cambodia*, Ecological Economics, volume 71, 151-161.
- Tsur, Y. et Graham-Tomasi, T.**, 1991. *The buffer value of groundwater with stochastic surface water supplies*, Journal of Environmental Economics and Management, volume 21, n°3, 201-224.
- UNESCO**, 2004. *Groundwater resources of the world and their use*, I. S. Zektser et L. G. Everett, Groundwater, Paris, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, p.
- van de Kerkhof, M.**, 2006. *Making a difference: On the constraints of consensus building and the relevance of deliberation in stakeholder dialogues*, Policy Sciences, volume 39, n°3, 279-299.
- Van Steenbergen, F. et Shah, T.**, 2002. *Rules rather than rights : self-regulation in intensively used groundwater systems*, in Intensive Use of Groundwater: Challenges and Opportunities, R. Llamas et E. Custodio, Taylor & Francis, 241-256
- VanSteenbergen, F.**, 2006. *Promoting local management in groundwater*, Hydrogeology Journal, volume 14, 380-391.
- Velez, M.A., Murphy, J.J. et Stranlund, J.K.**, 2010. *Centralized and Decentralized Management of Local Common Pool Resources in the Developing World: Experimental Evidence from Fishing Communities in Colombia*, Economic Inquiry, volume 48, n°2, 254-265.
- Villena, M.G. et Zecchetto, F.**, 2011. *Subject-specific performance information can worsen the tragedy of the commons: Experimental evidence*, Journal of Economic Psychology, volume 32, n°3, 330-347.
- Vyrastekova, J. et von Soest, D.**, 2003. *Centralized Common-Pool Management and Local Community Participation*, Land Economics, volume 79, n°4, 500-514.
- Vyrastekova, J., von Soest, D.**, 2008. *On the (in)effectiveness of rewards in sustaining cooperation*, Experimental Economics, volume n°11, 53-65.
- Zafar, B.**, 2011. *An experimental investigation of why individuals conform*, European Economic Review, volume 55, n°6, 774-798.
- Zarri, L.**, 2010. *Behavioral economics has two 'souls': Do they both depart from economic rationality?*, The Journal of Socio-Economics, volume 39, n°5, 562-567.
- Zhang, J.**, 2007. *Barriers to water markets in the Heihe River basin in northwest China*, Agricultural Water Management, volume 87, n°1, 32-40.

Annexe I

Terrains d'étude

Fiches d'identité

Carte des terrains d'étude



BASSIN DE LA SERRE

Aisne (02)

Une agriculture orientée vers l'industrie

L'agriculture du bassin de la Serre est caractérisée par des productions à haute valeur ajoutée à destination des industries agro-alimentaires (conserves de légumes, conditionnement de pommes de terre,...). La qualité de la production est déterminante dans le débouché et le prix de vente, et ne peut être garantie sans un apport d'eau suffisant.

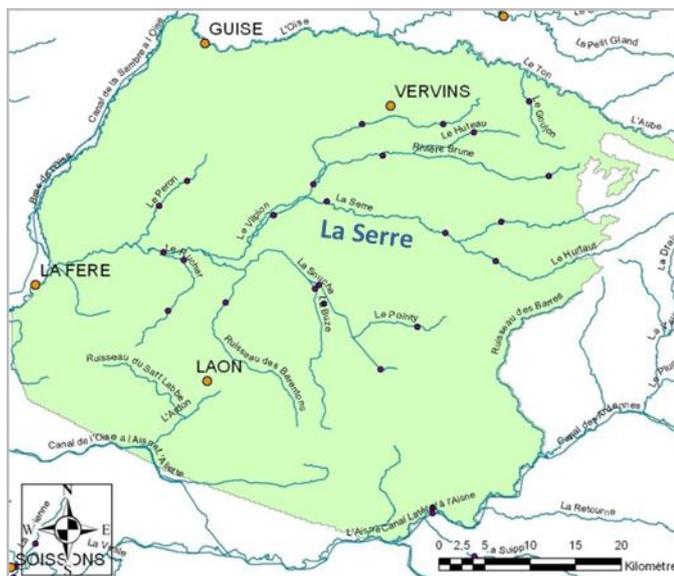
Une gestion volumétrique en cas de crise

Un système de gestion volumétrique des prélèvements en eau pour l'irrigation a été mis en place à partir de 2004 sur l'ensemble du département de l'Aisne. Celui-ci repose sur une autorisation de prélèvement et des relevés de compteurs en début et fin de saison d'irrigation. Le volume stipulé par l'autorisation calculé en fonction des cultures et des types de sol. Il n'entre en vigueur qu'en cas de dépassement du seuil de vigilance et devient alors un volume maximum annuel (VMA). En réalité, cette restriction n'a jamais été appliquée depuis 2004.

Les irrigants sont organisés en une section départementale, composée d'une douzaine de représentants des différents secteurs du département. Elle a pour mission de défendre les irrigants et de traiter les problématiques au sein de la Chambre d'Agriculture.

Pas de problème quantitatif mais une reconversion à surveiller

Le bassin de la Serre n'est pas classé en Zone de Répartition des Eaux. Ce n'est pas un bassin problématique actuellement, et n'a donc pas à satisfaire la loi en matière de gestion quantitative préventive (étude volume prélevable, OUGC). Cependant, la récente réforme du secteur sucrier a induit une forte baisse des surfaces en betterave dans la région et implique de réfléchir à la reconversion des surfaces libérées. Un modèle de nappe a été élaboré pour le bassin afin de simuler différents scénarios de reconversion et de besoins en eau.



Carte I : Le bassin de la Serre dans l'Aisne (source : Chambre d'Agriculture de l'Aisne)

- Superficie du bassin : **1628 km²**
- Une **centaine d'exploitations irriguées**
- SAU : **55 000 ha**
- SAU irriguée : **4 000 ha**
- Productions irriguées : **pommes de terre** pour l'industrie (26% de la SAU), **légumes de conserves** (42% SAU), **céréales et oléoprotéagineux** (32% SAU)
- Prélèvements totaux : **18 Mm³/an**
- Dont irrigation : **5.6 Mm³/an (31%) en moyenne**

Références

Entretiens avec **Christophe Compère** (Section des irrigants), **Benoît Grugeon** (Chambre d'Agriculture), **Fabrice Delaveaud** (DDT), **Violaine Bault** (BRGM), **Berthe Delachambre** (association de marais) et **3 irrigants (MM. Gandon, Simphal et Klein)**.

Bessière H., Chrétien P., Stollsteiner P. avec la collaboration de Amraoui N., Barthelemy Y., Bault V., Buscarlet E., Féret M.J., Thiéry D. (2012) Modélisation des niveaux de nappes dans le département de l'Aisne. Rapport final. BRGM/RP-60012-FR, 242 p., 105 ill., 36 tabl., 8 ann.

Hérivaux, Cécile (2013) Synthèse de la gestion de l'eau sur le bassin de la Serre – compte-rendu de mission, document de travail, 24 p.

PLAINE ALLUVIALE DE VALENCE *Drôme (26)*

Un usage conjoint des eaux souterraines et superficielles

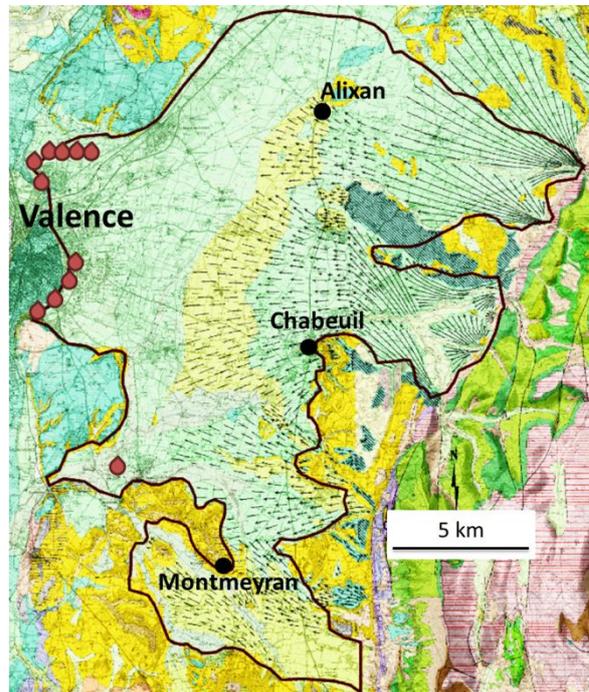
La plaine de Valence est maillée par un réseau de canaux d'irrigation gérés par des Associations Syndicales Autorisées, regroupées dans le Syndicat départemental de Gestion de la Ressource en Eau dans la Drôme (SYGRED). Ce réseau dessert l'ensemble des 9000 ha irrigués de la plaine, si bien que la plupart des préleveurs en nappe sont minoritaires et ont aussi un accès à une ressource de surface. Ils sont tout de même fédérés dans une association départementale, l'ADARII (Association Départementale des Agriculteurs en Réseau d'Irrigation Individuel) qui défend leurs intérêts dans les comités sécheresse.

Un système de gestion peu contraint par la ressource

Les autorisations de prélèvement en nappe sont délivrées par procédure mandataire, après déclaration des besoins à la chambre d'agriculture. La ressource étant perçue comme abondante, les irrigants reçoivent les volumes demandés, les augmentations sont accordées et de nouveaux irrigants peuvent s'installer. Les irrigants déclarent leur prélèvement mais ne sont pas contrôlés. Des mesures de restriction sont prises pendant la saison d'irrigation, mais elles restent rares et ne sont pas basées sur une connaissance fine de la nappe. Ce système de gestion assez souple et peu contraignant est permis par l'abondance présumée de la nappe. Cependant, afin de protéger une masse d'eau sous-jacente, elle a récemment été classée comme problématique par l'Agence de l'Eau.

Un OUGC désigné mais une étude volume prélevable contestée

Une étude a estimé que la préservation de la nappe passerait par une réduction des prélèvements de 40%. Ce résultat est très mal accueilli par les irrigants qui ne partagent pas le constat selon lequel la nappe est en déficit quantitatif. Les solutions envisagées portent d'une part sur des mesures d'économie d'eau et d'autre part sur des projets de substitution (retenues et raccords aux réseaux collectifs). Un OUGC a été désigné sur ce territoire, composé du SYGRED en partenariat avec l'ADARII et la Chambre d'Agriculture, mais ne fonctionne pas encore.



Carte II : Ecoulements et exutoires (en rouge) de la nappe des alluvions de la plaine de Valence

(source : Artelia 2012)

- Superficie du bassin : **550 km²**
- **150 d'exploitations irriguées**
- SAU : **25 000 ha**
- SAU irriguée : **9800 ha**
- Productions irriguées : **maïs grain** (40% de la SAUI), **arboriculture** (20% SAUI), **maraîchage** (10% SAUI) et **autres céréales** (10% SAUI)
- Prélèvements totaux : **22 Mm³/an**
- Dont irrigation : **5 Mm³/an (%) en moyenne**

Références

Entretiens avec **François Dubocs** (Chambre d'Agriculture), **Olivier Carsana** (DDT), **Claire Morand** (Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée), **Alain Babylon** (Conseil Général), **Philippe Breynat** (ADARII), **Cécile Chesnel** et **Robert Klein** (SYGRED).

Artelia (2012) Etude d'estimation des volumes prélevables globaux – sous-bassin de la Véore-Barberolle rapport n°1741411, 280 p.

NAPPE DE L'EST LYONNAIS

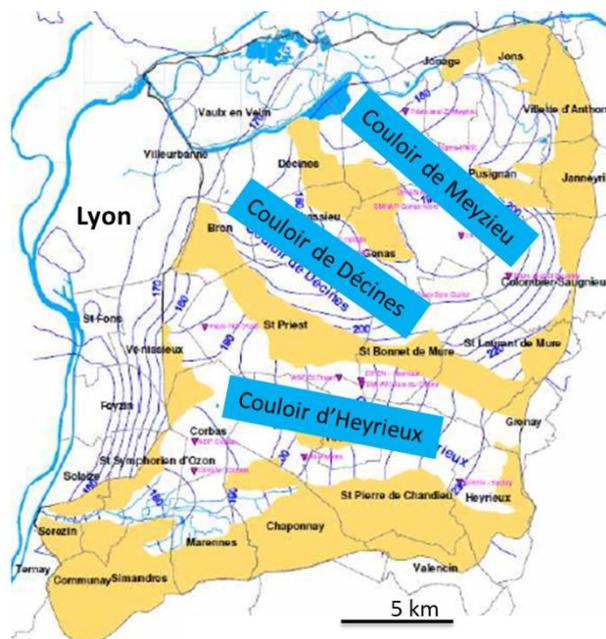
Rhône (69)

Une ressource souterraine distribuée par un réseau collectif

Le territoire de l'Est Lyonnais est caractérisé par une quasi-absence de ressource superficielle, qui fait de la nappe la principale ressource pour l'irrigation. Chose rare, les prélèvements en nappe sont collectifs, gérés par des ASA fédérées dans le Syndicat Mixte d'Hydraulique Agricole du Rhône (SMHAR). Il existe quelques préleveurs individuels, mais qui sont mal connus, sauf dans la partie iséroise du département, où l'ensemble des onze irrigants prélevant dans la nappe de l'Est Lyonnais sont recensés.

Un système de gestion double à unifier

Du côté rhodanien, la gestion de l'eau est assurée par le SMHAR et les ASA : allocation d'un débit en fonction de la surface et du type de sol, contrôle des compteurs, réduction du pompage et tours d'eau en cas d'arrêtés sécheresse. Du côté isérois, les préleveurs reçoivent une allocation en débit calculée en fonction de la recharge de la nappe et du nombre annuel de préleveurs (si ajournement ou nouvel irrigant). En cas de sécheresse, ils disposent d'un calendrier leur indiquant les périodes autorisées pour le pompage et les restrictions appliquées. La gestion de l'eau y est concertée : échanges de tours d'eau, accord sur l'assolement, échanges de parcelles pour les îlots de semence, etc. Le récent classement de la nappe comme déficitaire va nécessiter d'harmoniser la gestion des prélèvements sur l'ensemble du territoire.



Carte III : Les trois couloirs fluvi-glaciaires de la nappe de l'Est Lyonnais (source : BURGEAP 2010)

- Superficie du bassin : **400 km²**
- Une **centaine d'exploitations irriguées**
- SAU : **20 000 ha**
- SAU irriguée : **7000 ha**
- Productions irriguées : **céréales (maïs, blé) horticulture, maraîchage**
- Prélèvements totaux : **21 Mm³/an**
- Dont irrigation : **9,5 Mm³/an (%) en moyenne**

Vers une gestion pluriannuelle des prélèvements

Le territoire fait l'objet d'un SAGE approuvé en 2009 et la chambre d'agriculture du Rhône a été désignée OUGC en 2013. Depuis 2000, une baisse régulièrement de 5 cm par an du niveau de la nappe a été observée, mais reste cependant contestée par les irrigants. L'étude volume prélevable a estimé qu'une réduction des prélèvements de 25% était nécessaire sur le couloir de Meyzieu, mais la méthode de calcul utilisée est remise en cause par la profession agricole. Les solutions de réduction envisagées combinent des mesures d'économie et des projets de substitution (pompage dans le Rhône). Par ailleurs, la nappe de l'Est Lyonnais présente le grand avantage d'être très inertielle, permettant d'envisager une gestion pluriannuelle, avec des allocations en volumes à respecter sur 10 ans (et non annuellement). La souplesse de cette solution pourrait permettre d'atteindre un consensus entre les services de l'Etat et la profession agricole.

Références

Entretiens avec **Jean-Damien Romeyer** (Chambre d'Agriculture 69), **Nathalie Jury** (Chambre d'Agriculture 38), **Mme Pagliari-Thibert** (DDT69), **Thierry Clary** (DDT38), **Claudie Birand-Ponzetto** (Conseil Général 69), **Claire Morand** (Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée), **Nicolas Kraak et Max Ballet** (SMHAR).

BURGEAP (2010) Simulations quantitatives pour la mise en place du plan de gestion dynamique de la nappe de l'Est Lyonnais – Rapport final, 150 p.

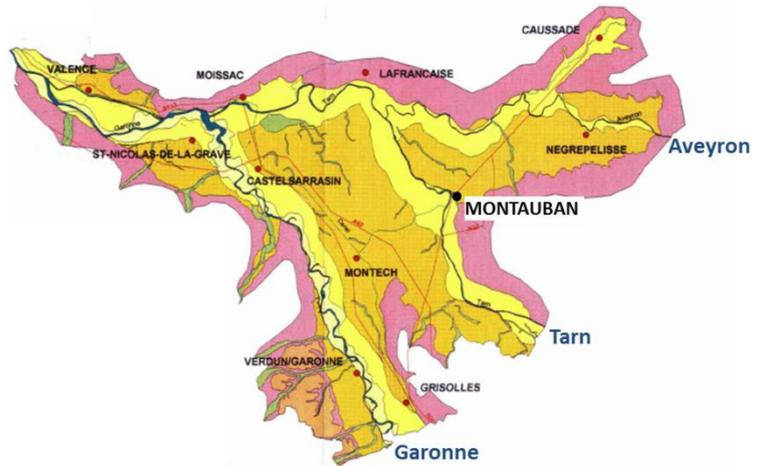
Site internet du SAGE de l'Est Lyonnais : www.sage-est-lyonnais.fr, consulté la dernière fois le 01/03/2015

PLAINE ALLUVIALE TARN-GARONNE

Tarn-et-Garonne (82)

Une agriculture irriguée à haute valeur ajoutée

La plaine alluviale du Tarn-et-Garonne est formée de terrasses alluviales successives alimentant les cours d'eau, notamment la Garonne, le Tarn et l'Aveyron. L'eau est donc très présente, tant en sous-sol qu'en surface : de large canaux maillent le territoire. Les préleveurs en nappe disposent de puits de faible profondeur (10-20 mètres) et sont quasiment tous raccordés à un réseau de surface. Les principales cultures irriguées sont les grandes cultures, les céréales (90% de maïs) et l'arboriculture. Cette dernière est fortement dépendante de l'apport en eau pour la qualité de ses produits et représente un enjeu majeur pour le territoire : bien qu'étendue sur seulement 10% de la SAU, elle produit 45% de la valeur des productions agricoles.



Carte IV : Terrasses alluviales de la plaine de confluence du Tarn, de la Garonne et de l'Aveyron (source : BRGM 1997)

- Superficie du bassin : **940 km²**
- Environ **300 exploitations irriguées** (toutes ressources confondues)
- SAU : **50 000 ha** environ
- SAU irriguée : **14 000 ha** environ
- Productions irriguées : **céréales et grandes cultures (60% SAU), arboriculture (30% SAU), fourrages et maraîchage (10% SAU)**
- Prélèvements totaux : **35 Mm³/an**
- Destination : **20 Mm³/an en moyenne**

Une gestion volumétrique peu efficace

Le territoire est divisé en 58 casiers de gestion. Pour chacun d'eux, un débit maximal annuel est calculé par un modèle de nappe à partir des précipitations hivernales et de scénarios climatiques. Ce débit est réparti entre les irrigants du casier qui reçoivent une autorisation en débit et en volume. Cependant, ces volumes sont souvent incohérents avec les besoins (notamment en arboriculture) et les volumes consommés ne sont pas vérifiés, ce qui entraîne de dépassements quasi-systématiques. Enfin, les restrictions en cas de sécheresse sont insuffisantes car limitées à une zone arbitrairement fixée à 100 mètres de part et d'autre des cours d'eau.

Vers une gestion pluriannuelle des prélèvements

Les sécheresses à répétition couplées à une gestion inadéquate génèrent des crises et déclenchent des arrêtés préfectoraux chaque année. Après des mois de résistance de la part de la profession agricole, un OUGC, porté par la Chambre départementale d'Agriculture, a finalement été désigné. Cependant, les irrigants n'ont pas la culture d'une gestion volumétrique contraignante et souhaitent augmenter les ressources en créant des retenues collinaires.

Références

Entretiens avec **Michel Glandières** et **Christian Leray** (Chambre d'Agriculture), **Vorlette Nuttinck** et **Claude Chochon** (DDT), **Geoffrey Laguyer** (Conseil Général), **Nicolas Hébert** (Agence de l'Eau Adour-Garonne), **Mélanie Bardeau**, **Maritxu Saplaïroles** et **Pierre Roubichou** (BRGM), **Jacques Joulie** (Coopérative Bluewhale)

Gandolfi J.-M., Danneville L., Petit V., Tilloloy F. (1997) Connaissances, évaluation et protection des aquifères alluviaux du Tarn-et-Garonne, BRGM/RP39543, 63 p.

Guyselinck-Bardeau M. (2007) Gestion des aquifères alluviaux dans le bassin Adour-Garonne – Modélisation de la nappe alluviale de la Garonne, du Tarn et de l'Aveyron, rapport final, BRGM/RP-55315, 137 p.

BASSIN DU CLAIN

Vienne (86)

Une nappe problématique mais relativement bien connue

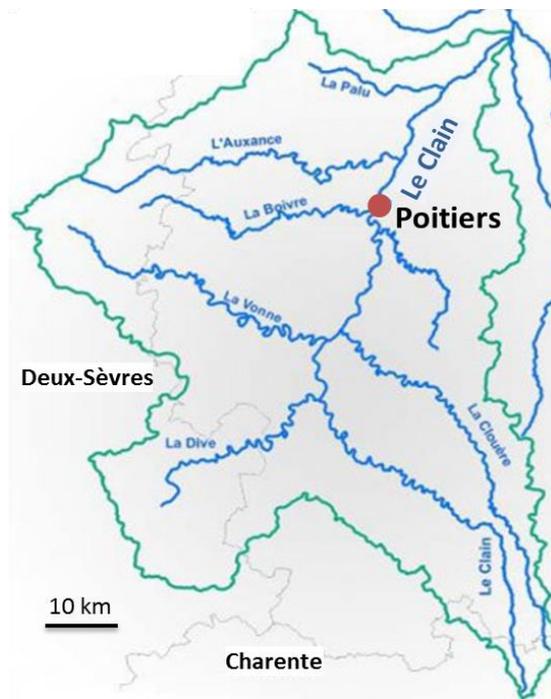
Les prélèvements agricoles dans le bassin du Clain se font à 90% en nappe. Ils sont réalisés par des exploitations céréalnières de grande taille (80 ha en moyenne) ou de polyculture élevage de taille plus modeste. La ressource souterraine est de type karstique et de ce fait très réactive par endroits. Des études hydrogéologiques du BRGM ont permis d'améliorer la connaissance du fonctionnement de la nappe. Le bassin est divisé en 14 secteurs suivis par des piézomètres mesurant les niveaux des nappes. Cette connaissance fine du milieu est partagée avec les irrigants, qui ont, par exemple, accès aux mesures des piézomètres par internet. Dans ce bassin, les irrigants sont bien informés, fédérés dans une association départementale influente et fortement impliqués dans la gestion de l'eau.

Une gestion volumétrique dès les années 2000

Une gestion volumétrique est en place dans ce bassin depuis 2000 : les irrigants reçoivent un volume sur une base de consommation historique. En cas de restriction, une gestion hebdomadaire est mise en place, avec l'application d'un volume hebdomadaire individuel. En termes de contrôle, les irrigants ont obligation de relever leur compteur tous les lundis pendant la campagne d'irrigation et des contrôles sont effectués régulièrement.

Un contrat territorial pour une réduction de 50% des prélèvements en nappe

L'étude volume prélevable et la concertation qui s'en est suivie ont conduit à l'établissement d'un volume maximal prélevable de 17,5Mm³, soit une réduction à réaliser de 15 Mm³. Deux solutions sont envisagées : l'adaptation de l'agriculture irriguée par des mesures d'économie d'eau (2 Mm³) et le stockage dans des retenues de substitution (13 Mm³), à raison d'une soixantaine d'ouvrages d'environ 200 000 m³ chacun. Les irrigants ont lancé de vastes actions collectives en faveur de ces projets de substitution qui sont actuellement en phase d'étude de faisabilité. L'ensemble des mesures à prendre pour réduire les prélèvements s'inscrivent dans un contrat territorial signé en 2014 entre la Chambre d'Agriculture et l'Agence de l'Eau.



Carte V : Bassin du Clain (Source : SAGE)

- Superficie du bassin : **2880 km²**
- Environ **440 exploitations irriguées**
- SAU : **270 000 ha**
- SAU irriguée : **28 000 ha** environ
- Productions irriguées : **maïs** (60% SAU), **céréales à paille** (20% SAU), **prairies** (10% SAU), **oléoprotéagineux** (5% SAU), **melons** et **tabac** (5% SAU)
- Prélèvements totaux : **50 Mm³/an**
- Dont irrigation : **28 Mm³/an en moyenne**

Références

Entretiens avec **Laurent Fombour** (Chambre d'Agriculture), **Anne Turlan** (DDT), **Hélène Etienne** (Conseil Général), **Claude Dallet** (Agence de l'Eau Adour-Garonne), **Francis Bichot** (BRGM), **Etienne Béguin** (Fédération Départementale de la Pêche et de la Protection des Milieux), **Jean-Luc Pousse**, **Louis-Marie Grollier**, **Jean-Luc Billault**, **Daniel Mérigot** (irrigants et Association Départementale des Irrigants de la Vienne), **Joseph Ribardièrre** (irrigant et Association des Sources du Bé)

Bichot F., Lavie J., Dequidt D., Thinon-Larminach M. (2010) – Analyse des chroniques piézométriques et hydrologiques avec le logiciel TEMPO pour la gestion des prélèvements en nappe, BRGM/RP- 56481-FR, 481 p.

SAGE Clain, site internet : www.sageclain.fr, consulté la dernière fois le 01/03/2015

SAGE Clain (2011), Etat initial, Rapport validé par la CLE le 29 juin 2011, 265

Annexe II

Exemple d'articles de presse fictifs utilisés pour les ateliers

Analyse
2020

Jeudi 20 janvier

Gestion de l'irrigation : bilan positif de sept années d'efforts sur la plaine de Valence

En 2013, l'Organisme de Répartition des Eaux pour l'Irrigation de la plaine de Valence (OREIV) était créé, avec pour mission de partager la ressource en eau entre irrigants. Sept ans plus tard, services de l'Etat et profession agricole semble satisfaits du résultat.

C'est dans un climat apaisé que s'est terminée hier soir la conférence sur la gestion de l'irrigation sur la plaine de Valence. Dans son discours de clôture, le Préfet a salué les efforts réalisés par la profession agricole pour respecter les quotas d'eau prévus pour l'irrigation des cultures.

Petit rappel historique

En 2013, l'Organisme de Répartition des Eaux pour l'Irrigation de la plaine de Valence (OREIV) voyait le jour, avec pour mission de partager la ressource en eau entre les irrigants et de réduire les prélèvements estivaux de 40% pour 2017. L'OREIV est ainsi devenu responsable devant l'Etat du respect du *Volume Prélevable pour l'Irrigation (VPI)*. Et depuis, les irrigants sont dans l'obligation d'adhérer à cette structure pour être autorisés à prélever.

Son statut juridique renforcé par la loi sur l'eau de 2017, l'OREIV a pu élargir ses missions et construire ses propres règles de gestion de l'eau. Son directeur Jacques Follat se félicite : « *le système a été construit avec les irrigants et aujourd'hui les règles du jeu sont acceptées par tous* ».

Une gestion volumétrique

Ce système repose sur une gestion volumétrique : les

réseaux collectifs), de réduire également de 20% les prélèvements agricoles en eau souterraine. L'objectif de réduction des prélèvements de 40% a bien été atteint par l'OREIV.

répartis sur deux périodes : le printemps et l'été. Le VMR d'été est plafonné à 64% du VMR annuel alors qu'historiquement 80% des prélèvements d'irrigation étaient effectués en été. « *Il ne s'agissait pas de réduire les prélèvements totaux puisque les nappes ne sont pas surexploitées. Nous cherchions seulement à limiter les pics de consommation en été, pour garantir les débits réservés et préserver l'accès à la ressource pour l'eau potable. Avec ce système, les irrigants ont toujours autant d'eau, mais sont invités à la prélever plus tôt.* » Ce report d'une partie du VMR au printemps a ainsi permis de réduire de 20% les prélèvements en été.

Des ressources de substitution

En complément de ce système, une retenue d'eau pour l'irrigation d'1 million de mètres cubes a été financée par l'ensemble des irrigants selon un principe de solidarité. Rechargée en hiver et utilisée l'été, cette retenue a permis, avec d'autres mesures de ce type (bassins tampon - connexion d'agriculteurs individuels à des

réseaux collectifs), de réduire également de 20% les prélèvements agricoles en eau souterraine. L'objectif de réduction des prélèvements de 40% a bien été atteint par l'OREIV.



Le président de la Chambre d'agriculture, le directeur de l'OREIV et le Préfet de la Drôme hier à Valence.

Au fur et à mesure de la mise en place de ce système, les agriculteurs de Véore-Barberolle ont fait preuve d'une capacité d'adaptation remarquable : ils ont recherché les économies d'eau là où elles pouvaient encore se faire. « *On avait déjà fait pas mal d'efforts, en termes d'économies d'eau. On a continué à améliorer la performance de l'irrigation, en généralisant le goutte-à-goutte par exemple, nous explique Bruno Morin, agriculteur sur la commune de Chabeuil, j'ai aussi remplacé la moitié de ma surface par des variétés précoces. Je*

limite ma consommation d'eau l'été. »

La souplesse de la concertation

Les agriculteurs ont aussi innové en se concertant en amont. L'OREIV rapporte ainsi : « on organise une réunion de concertation : les irrigants qui savent à l'avance qu'ils n'utiliseront pas la totalité de leur quota le font savoir afin que nous puissions réattribuer ces volumes à d'autres ». Cette formule semble plutôt bien fonctionner et satisfait les irrigants. « L'année dernière, j'ai rendu une partie de mon volume que je ne pensais pas utiliser. Cela a alimenté un pot commun et a bénéficié à des collègues qui en avaient plus besoin. Je sais qu'on me renverra l'ascenseur le jour où j'en aurai besoin » explique Denis Rigue, agriculteur à Beauvallon, avant de rappeler : « ce n'est pas nouveau pour nous. Dans la région, on a l'habitude de s'organiser, on fait des tours d'eau depuis longtemps ». Sur les secteurs les plus critiques, les irrigants se concertent même sur leurs assolements, pour éviter de prélever de l'eau aux mêmes moments.

Une meilleure connaissance de la nappe...

Tout cela n'aurait pu se faire sans des outils de gestion performants et fiables s'appuyant sur une connaissance fine de la nappe. « En sept ans, nous avons parcouru un chemin considérable » rappelle Jules Fondeau, chargé du dossier à la Chambre d'Agriculture. « Nous avons d'abord amélioré notre connaissance de la nappe et de son fonctionnement grâce à plusieurs études qui nous ont permis de diviser la plaine en 5 secteurs de gestion. Pour chacun d'eux, un piézomètre de référence permet de suivre

l'évolution du niveau de la nappe en temps réel. Les seuils de gestion ont ainsi pu être affinés. Car malgré les efforts de tous, la plaine n'est jamais à l'abri de restrictions. « Le printemps 2016 ayant été particulièrement sec, 3 secteurs sur les 5 étaient en niveau d'alerte dès le mois de mai. Mais les pluies de juin nous ont permis de passer l'été sans aucune restriction. Et nous n'en avons plus connue depuis ! »

...et des prélèvements

Si la nappe a fait l'objet d'un suivi régulier et fin, les prélèvements aussi : des compteurs à télétransmission automatique ont été installés sur tous les puits de la plaine de Valence. Les données sont envoyées directement sur une base de données à l'OREIV. Méfiants au début, les irrigants y ont rapidement trouvé leur compte : « cela nous permet de mieux piloter notre irrigation mais surtout de connaître nos besoins et nos consommations. Avec ces chiffres, on a des billes pour négocier et on peut facilement prouver que l'on fait de économies » admet Bruno Marin, agriculteur à Alixan.

Une transparence affirmée

Il en a été de même pour la transparence, le cheval de bataille de l'OREIV. « Il nous paraissait essentiel de partager l'information, justifie Jacques Follat. « Pour nous, il est normal que tout le monde sache ce que chacun prélève. Les irrigants responsables n'ont rien à cacher, et l'ouverture des données de prélèvements à tous les irrigants de la plaine n'a pas soulevé d'opposition. ». En effet, sur leur compte personnel du site internet de l'OREIV, les irrigants peuvent suivre l'évolution du niveau de la nappe en même temps que leur propre consommation... et que

celle de leurs collègues. « Cela nous permet de mettre les points sur les i. Quand un irrigant prélève trop ou trop vite, on va le voir à plusieurs pour essayer de le raisonner. S'il le faut, on lui arrête la pompe. Mais sans rancune, précise Hervé Tindon, irrigant à Montvendre, ça se finit souvent autour d'un verre ! Mais pincé une fois, c'est rare qu'il recommence ! »

Clotilde Lecozy de France Nature Environnement relativise ce succès. « Les agriculteurs ont été très aidés dans cette phase de transition par une pluviométrie exceptionnelle et par une conjoncture économique très favorable. Espérons que leur sens des responsabilités restera le même si les conditions deviennent plus difficiles dans les années à venir ».



Irrigation : négociations de la dernière chance

Le Préfet convoque les acteurs de l'eau pour tenter de trouver une issue à la crise provoquée par trois années de sécheresse. Agriculteurs, élus, associations, représentants de l'Etat et experts scientifiques disposent de trois jours pour trouver un accord sur une nouvelle manière de partager l'eau souterraine. En tentant de concilier développement agricole et protection des milieux aquatiques.



Table des négociations, hier à Valence

Ce n'est pas un ultimatum, mais cela y ressemble à s'y méprendre. Lors de sa conférence de presse, le Préfet a rappelé qu'il avait organisé cette négociation pour ramener l'ordre dans la gestion de l'eau souterraine. « Au cours des deux dernières campagnes d'irrigation, de nombreux exploitants agricoles n'ont pas respecté les volumes qui leur avaient été attribués par l'OREIV. Ce faisant, ils ont pris le risque de remettre en cause le principe même de la gestion collective des volumes par les irrigants ». Le message est clair : soit l'OREIV se donne les moyens de faire respecter les volumes d'eau qui leur ont été alloués, soit l'Etat reprend en charge leur répartition.

Circonstances exceptionnelles ...

La profession agricole plaide les circonstances exceptionnelles. « Voilà trois ans que la pluviométrie ne dépasse pas 75% de la moyenne interannuelle » explique Jules Fondeau de la Chambre d'Agriculture. Ces trois dernières années, les restrictions sont montées au niveau de crise à partir de mi-juillet jusqu'à la fin de la saison. Comment voulez-vous que les volumes attribués soient respectés ? »

Facteur aggravant, les retenues collinaires ne se sont pas remplies. Les agriculteurs se reportent quand ils le peuvent sur les eaux

souterraines. Et dépassent largement le volume qui leur a été attribué.

... ou changement climatique ?

Pour les experts l'affaire est entendue. « Il ne s'agit pas d'une situation exceptionnelle. Nous sommes les témoins des premiers grands changements climatiques que les scientifiques prévoient depuis plus de 30 ans » explique M. Galamieux, hydrologue à Irstea. « La succession de trois années sèches comme nous venons de connaître va devenir beaucoup plus fréquente. Avec comme conséquence une forte baisse du débit d'étiage de la Véore, de la Barberolle et à plus long terme du Rhône. Les nappes se rechargent moins, les agriculteurs les exploitent plus. Et au final, elles ne réalimentent plus les cours d'eau, accentuant leur tarissement. »

Réduire les volumes prélevables...

L'administration a donc d'abord envisagé de réduire les volumes alloués aux usagers de l'eau et notamment aux irrigants. Mais avant cela, elle souhaite laisser sa chance à la profession agricole de s'organiser pour faire respecter les volumes prélevables actuellement en vigueur. « Nous faisons l'hypothèse que si ces volumes

prélevables sont respectés, les nappes se rechargeraient mieux et ce malgré la sécheresse, nous explique Mme Candolle de l'Office National pour l'Eau et les Milieux Aquatiques (ONEMA). Nous allons toutefois rester très vigilants : l'enjeu est le soutien d'étiage et la survie de la flore et de la faune de nos cours d'eau » rappelle-t-elle.

... et les faire respecter

Mais comment faire pour que les agriculteurs respectent tous leur volume ? « Tout ce qu'un agriculteur encourt à ce jour, c'est une amende de 1500 € » explique André Poux de la Police de l'eau. « Car dans un contexte aussi difficile, l'OREIV ne prendra jamais la décision d'exclure les agriculteurs qui dépassent leur volume. Le mécanisme est grippé car tout reposait sur cette sanction ». Sauf à ce que l'Etat reprenne la main en revenant à un système d'autorisation individuelle.

A partir de demain, les débats auront lieu à huis clos. Nul doute que l'issue sera déterminante pour l'avenir de l'agriculture. La présentation par l'OREIV de son nouveau projet de règlement intérieur est attendue avec impatience. L'Etat a également fait savoir qu'il pourrait dévoiler des mesures coercitives au cas où les garanties présentées par l'OREIV ne soient pas jugées suffisantes.

EVENEMENT

Nouvelles règles de gestion des volumes d'irrigation

Au troisième jour de la réunion de crise, l'Organisme de Répartition des Eaux d'Irrigation de la plaine de Valence (OREIV) a présenté son projet de nouveau règlement intérieur. Désormais, les agriculteurs qui dépassent leur attribution devront payer une pénalité financière. Ceux qui, au contraire, parviennent à consommer moins, seront récompensés.



Le constat était partagé par la profession agricole et les représentants de l'Etat : mettre un gendarme derrière chaque agriculteur n'est pas une solution. Pourtant l'OREIV doit absolument tenir son engagement vis-à-vis de l'Etat. Faire en sorte que la globalité des prélèvements de ses membres ne dépasse pas le Volume Prélevable d'Irrigation, tel est le défi que cherche aujourd'hui à relever l'OREIV.

Un système de bonus - malus

Jean Barre, président de l'OREIV, explique très simplement ce qui est proposé. « Comme on ne pourra jamais empêcher que certains agriculteurs dépassent en été, même occasionnellement, les volumes d'eau qui leur ont été attribués, il faut que d'autres consomment moins que ce à quoi ils ont droit. D'où l'idée d'utiliser à la fois l'incitation et la sanction. La sanction, ce sera une pénalité financière que devront payer les agriculteurs qui ne respectent pas leur attribution. Et l'incitation, un bonus financier versé à ceux qui réduisent leur consommation. Les économies d'eau réalisées par les uns compenseront ainsi les excès des autres. Et les malus payés par les

uns serviront à récompenser les autres. »

Comment ça marche ?

La pénalité sera payée proportionnellement au volume du dépassement de la période estivale. Pour qu'elle soit dissuasive, le Conseil d'Administration de l'OREIV a décidé de l'établir à 30 centimes d'euro par mètre cube. Cette pénalité sera doublée dès que l'irrigant dépassera de plus de 30% son attribution.

Proposition juste et crédible

Pour Jules Fondeau de la Chambre d'Agriculture, « ce système est juste car il incite tous les agriculteurs à éviter les excès sans pour autant mettre sur la paille ceux qui doivent faire face à un coup dur ; 30 centimes de pénalité, c'est dur mais supportable. Le doublement de la pénalité appliqué à ceux qui dépassent de plus de 30% leur quota fera aussi rentrer dans le rang ceux qui prennent systématiquement le risque de dépasser. Le système est également juste parce qu'il rétribue ceux qui font des efforts d'économie d'eau et qui y laissent une partie de leur revenu. »

Le recouvrement des malus ne devrait pas poser de problème majeur puisque c'est le Trésor Public qui gère les titres de recettes de l'OREIV (comme pour les ASA d'irrigation).

Le système sera-t-il économiquement viable ?

La principale difficulté que l'OREIV devra résoudre consistera à assurer l'équilibre financier de ce système : « il s'agit d'un système fermé, dans lequel les sommes payées par certains agriculteurs bénéficient à d'autres, sans aucune entrée financière extérieure » explique Jean Barre. « Le niveau du bonus sera donc ajusté en fonction du montant des recettes générées par les malus ainsi que du nombre d'agriculteurs bénéficiaires ».

Une proposition qui ne fait pas l'unanimité

La proposition de l'OREIV n'a cependant pas fait l'unanimité au sein même de la profession. Pour Anibal Leuret du Syndicat des Nouveaux Paysans, « on signe un chèque en blanc en autorisant les dépassements à ceux qui peuvent payer. Tout cela accentuera les différences entre les exploitations agricoles, au profit des plus grosses. Il faut durcir les sanctions pénales, les appliquer strictement et tout rentrera vite dans l'ordre ». Pour les associations de protection de l'environnement, l'équilibre de ce système ne permettra pas d'assurer l'équilibre de la ressource : il y a donc un risque de contentieux important. Quant au Préfet, il n'a pas encore communiqué sur le sujet.

ACTUALITE

20 Novembre 2030

Irrigation : innovation sur la plaine de Valence

Dans la Drôme, l'OREIV vient d'adopter de nouvelles modalités de répartition du volume prélevable sur proposition de la profession agricole. Les agriculteurs qui le souhaitent pourront désormais signer un contrat qui les rend solidaires et collectivement responsables du respect des volumes qui leur sont attribués. Un système qui donne plus de souplesse aux irrigants qui joueront la carte de la concertation

On se souvient que l'Organisme de Répartition des Eaux d'Irrigation de la plaine de Valence (OREIV) avait été le premier à proposer, puis mettre en place, le système de bonus-malus, qui a depuis été adopté dans plusieurs régions de France. L'OREIV confirme aujourd'hui son étonnante capacité d'innovation en créant les « contrats de solidarité ».

Plus de souplesse. La démarche, qui repose sur le volontariat, consiste à rendre un groupe d'agriculteurs collectivement responsables du respect du volume global qui leur a été attribué (c'est-à-dire de la somme des attributions individuelles). L'objectif est de créer plus de souplesse dans l'utilisation des volumes, en permettant qu'au sein d'un groupe, les économies compensent les excès, pourvu que les volumes globaux (annuel et estival) soient respectés. Ainsi, un agriculteur qui n'utiliserait pas intégralement son volume pourrait en faire profiter un membre du collectif. Cela pourrait aussi permettre de ne pas « perdre » des quantités d'eau prélevées, notamment au printemps. De tels arrangements pourraient s'établir en cours de campagne ou bien être planifiés dès le début de la saison d'irrigation.

Réduire le nombre d'interlocuteurs. Pour le président de l'OREIV, l'intérêt de la démarche est de diminuer le nombre de ses interlocuteurs. « Concernant les eaux souterraines, au lieu de gérer les dossiers de 125 agriculteurs, nous allons désormais travailler avec une dizaine de groupements de 8 à 10 exploitants plus une trentaine d'individuels qui ne voudront pas signer de contrat. Comme cela nous simplifie la tâche, nous proposerons une cotisation très réduite aux membres de groupes ».

Favoriser l'engagement collectif. Si le système de bonus-malus est supprimé, la pénalité financière est par contre maintenue au niveau des années précédentes pour les agriculteurs qui



Signature du premier contrat de solidarité hier à Roura lesValence

ne signent pas de contrat. En revanche, l'Etat a exigé que le montant de la pénalité soit doublé (60 centimes puis 1.20 euro par mètre cube au-delà de 30% de dépassement) pour les signataires de contrats. M. Burtain de la DDT explique qu'il « s'agit d'éviter que les gens signent un contrat par précaution et qu'ils bénéficient de la

réduction de cotisation et de la souplesse du contrat sans courir plus de risques que s'ils étaient restés indépendants. Nous souhaitons que les irrigants qui signent un contrat solidaire se sentent véritablement engagés les uns vis-à-vis des autres ».

Le système de sanction va d'ailleurs dans ce sens : en cas de dépassement, la pénalité sera répartie de manière égale entre tous les signataires, qu'ils aient individuellement respecté leur volume ou non.

Une parfaite transparence sur les prélèvements. Les signataires d'un même contrat peuvent accéder en temps réel aux données des compteurs de leurs cosignataires, en se connectant sur le site internet de l'OREIV. Il s'agit d'éviter les mauvaises surprises au sein du groupe et de favoriser les comportements responsables.

Annexe III

**Livret du participant,
à remplir au cours de l'atelier**

Votre avis en bref ...

Gestion actuelle

- ▶ Connaissez-vous le système de gestion actuelle ? Très bien En partie
 Assez mal
- ▶ Etes-vous d'accord avec les grands principes de cette gestion ? Oui Non

Situation de référence

- ▶ Les évolutions décrites dans cet article vous paraissent-elles réalistes et plausibles à l'horizon 2020? Oui Non
- ▶ Pensez-vous que le système de gestion volumétrique proposé dans cet article soit meilleur que celui actuellement en place ? Oui Non
- La concertation entre agriculteurs en début de saison permettra-t-elle d'ajuster la répartition ? Oui Non
- Le fait de rendre accessibles les données sur les prélèvements réduira le risque de non-respect des volumes ? Oui Non

A propos du bonus-malus

- ▶ A votre avis, ce mécanisme permettra-t-il de faire respecter globalement le Volume Prélevable ? Oui Non
- ▶ Dans votre cas, auriez-vous tendance à : prendre le risque de payer un malus ou à tenter d'obtenir un bonus ?
- ▶ Les montants envisagés vous paraissent-ils incitatifs? Oui Non
- Pour les bonus Oui Non
- Pour les malus Oui Non

A propos du contrat de solidarité

- ▶ Pensez-vous que la solidarité au sein d'un petit groupe permette de mieux respecter la contrainte de volume ? Oui Non
- ▶ A votre avis, quel pourcentage d'agriculteurs accepterait d'entrer dans ce type de démarche ? Une minorité Moins de la moitié Plus de la moitié La majorité
- ▶ En tant qu'agriculteur, accepteriez-vous de signer un tel contrat ? Oui Non

L'achat et vente de volumes

- ▶ Quelle est-votre position de principe vis-à-vis de cette possibilité d'achat et vente de tout ou partie du volume auquel vous avez droit ? opposé favorable sous conditions tout à fait favorable pas d'avis
- ▶ Si un tel système était établi, pensez-vous que vous pourriez être amené à vendre ou acheter de l'eau, Vendre acheter
- Et ce plutôt : Occasionnellement Régulièrement
- ▶ A votre avis, quel serait le pourcentage d'agriculteurs engagés Une minorité

Nom :

dans ce type de transaction ?

Moins de la moitié

Plus de la moitié

La majorité

Quel pourcentage du volume attribué serait échangé ?

négligeable 5 à 10%

10 à 30% 30% ou plus

Votre vision de l'évolution probable et souhaitable ?

► Pensez-vous que les événements que nous avons décrits aient une forte probabilité de se réaliser ?

Bonus - malus (2025)	Contrat solidaire (2030)	Echanges de volumes (2035)
<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Oui
<input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Non
<input type="checkbox"/> ne sais pas	<input type="checkbox"/> ne sais pas	<input type="checkbox"/> ne sais pas

► Parmi les changements envisagés, lesquels vous paraissent souhaitables ?

Souhaitable

Oui

Oui

Oui

Non

Non

Non

ne sais pas

ne sais pas

ne sais pas

Bonus - malus (2025)	Contrat solidaire (2030)	Echanges de volumes (2035)
-------------------------	--------------------------------	----------------------------------

La vision qui me convient le mieux :

► A l'issue de cette discussion, pouvez-vous nous faire part des principes qu'il vous semble le plus important de promouvoir pour la gestion de l'eau à l'avenir ?

Annexe IV

Construction des courbes de profits utilisées dans l'expérience

Annexe IV : Construction des courbes de profits utilisées dans l'expérience

Les fonctions de profit pour le jeu expérimental ont été construites de façon à ce que le bonus-malus permette de faire respecter le volume prélevable total.

1. Justification du nombre de sujets et des rôles respectifs

La construction de la situation stylisée dans le jeu expérimental s'appuie sur les données collectées par Loubier (2011)¹⁴ sur le département du Tarn-et-Garonne. Nous avons choisi de reproduire la proportion d'exploitations en céréaliculture (112, soit 67%) et en arboriculture ou légumes de plein champ (66, soit 33%) du département. Notre groupe de 3 sujets sera donc constitué de deux agriculteurs de type céréalier (faible valeur ajoutée) et d'un agriculteur spécialisé dans une culture à haute valeur ajoutée.

2. Courbes de marge brute réelle des exploitations

Les mêmes données¹ nous permettent de construire, par extrapolation linéaire, les courbes de marge brute pour le maïs et l'arboriculture en fonction de l'apport en eau, dans le département du Tarn-et-Garonne (Figure IV - 1). Ces fonctions feront office de modèle pour la construction de nos courbes de profit dans l'expérience.

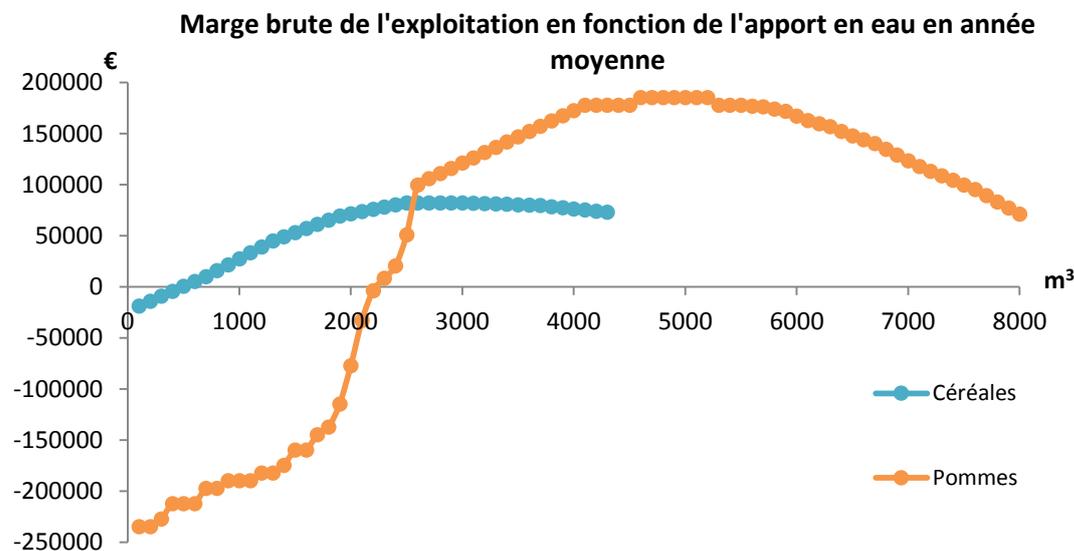


Figure IV - 1 : Marge brute des exploitations en fonction de l'apport en eau en année médiane. A partir des données recueillies par Loubier (2011)¹ dans le département du Tarn-et-Garonne, données obtenues par extrapolation linéaire, pour une exploitation céréalrière de 100 ha et une exploitation arboricole de 25 ha.

¹⁴ ACTeon, BRGM, CEMAGREF, 2011. *Révision des autorisations de prélèvements d'eau pour l'irrigation dans le bassin Adour-Garonne - Synthèse*, p. 58. Ce projet visait à mesurer les impacts économiques de la réduction des volumes prélevables sur l'activité agricole par sous-bassins en Adour-Garonne.

3. Fonctions de profit dans le jeu

Le jeu présente une contextualisation limitée : nous choisissons d'exprimer le profit en « écus » et l'apport en eau en « unités d'eau ».

La construction des courbes est contrainte par :

- Les courbes réelles, dont elles doivent s'inspirer dans les proportions et la représentation de la réalité. La courbe de profit du céréalier doit représenter une valeur ajoutée par unité d'eau plus faible qu'en arboriculture, ainsi qu'un profit non nul sans irrigation. A l'inverse, la courbe de profit pour la culture à haute valeur ajoutée doit montrer un seuil de prélèvement à partir duquel la culture devient rentable (seuil de qualité du produit) et la valeur marginale d'une unité d'eau doit être élevée.
- L'atteinte de l'objectif de respect du volume prélevable total avec la mise en place de l'instrument du bonus-malus. La courbe de profit des joueurs A $\pi_i = f(C, c_i, P_i, P_{-i})$ ont été établies de façon à respecter les trois contraintes $\sigma 1$, $\sigma 2$ et $\sigma 3$, une fois le bonus-malus appliqué :
 1. Pour des questions d'acceptabilité de l'instrument, le joueur doit avoir le choix entre la stratégie « malus » et « bonus ». Le profit doit donc rester croissant au-delà du volume autorisé, même avec l'imposition du malus :

Pour t, C, c_i et P_{-i} donnés

$\forall P_A \in [V_{p,A}; P_{malus,A}^*(t)] :$

$$(\sigma 1) \quad \pi_A(P_A) - m \times (P_A - V_{p,A}) \geq \pi_A(V_{p,A})$$

2. Si les deux joueurs A choisissent la stratégie « bonus », ils sont en compétition pour capturer la plus grande part de la cagnotte M générée par le dépassement du joueur B ($M = m \times (P_{malus,B}^* - V_{p,B})$). On souhaite qu'ils choisissent un effort d'économie suffisamment élevé pour compenser le dépassement des joueurs B. On résout le problème par la théorie des jeux.

Nous représentons le choix du joueur A comme une alternative entre : une économie d'eau assez élevée pour permettre de compenser le dépassement de B ($P_{malus,B}^* - V_{p,B}$),

soit une économie pour chaque joueur A de $e_A^* = \frac{P_{malus,B}^* - V_{p,B}}{2}$, et une économie

plus faible $e_A = V_{p,A} - P_A$ telle que $e_{A2} \leq e_A^*$.

Tableau IV - 1 : Matrice des gains des joueurs A en stratégie « bonus » et recherche de stratégie dominante

		Joueur A2				
		Economie faible e_{A2}		Economie optimale e_A^*		
		$e_{A2} \leq e_A^*$ et $P_{A2} \geq P_A^*$		et $P_{A2} = P_A^* = V_{p,A} - \frac{(P_{malus,B}^* - V_{p,B})}{2}$		
		π_{A1}	π_{A2}	π_{A1}	π_{A2}	
Joueur A1	Economie faible e_{A1}	$e_{A1} \leq e_A^*$ et $P_{A1} \geq P_{A1}^*$	$\pi_A(P_{A1}) + \frac{e_{A1} \times M}{e_{A1} + e_{A2}}$	$\pi_A(P_{A2}) + e_{A2} \times \frac{M}{e_{A1} + e_{A2}}$	$\pi_A(P_{A1}) + \frac{e_{A1} \times M}{e_{A1} + e_A^*}$	$\pi_A(P_A^*) + e_A^* \times \frac{M}{e_{A1} + e_A^*}$
	Economie optimale e_A^*	et $P_A^* = V_{p,A} - \frac{(P_{malus,B}^* - V_{p,B})}{2}$	$\pi_A(P_{A1}^*) + \frac{e_A^* \times M}{e_{A2} + e_A^*}$	$\pi_A(P_{A2}) + e_{A2} \times \frac{M}{e_{A2} + e_A^*}$	$\pi_A(P_A^*) + \frac{M}{2}$	$\pi_A(P_A^*) + \frac{M}{2}$

On souhaite que la stratégie dominante soit le choix e_A^* pour les 2 joueurs. Quel que soit la stratégie e_{A1} du joueur A1, il faut que le joueur A2 ait intérêt à choisir la stratégie e_A^* , soit :

$$\forall e_{A1} \quad \pi_A(P_A^*) + e_A^* \times \frac{M}{e_{A1} + e_A^*} \geq \pi_A(P_{A2}) + e_{A2} \times \frac{M}{e_{A1} + e_{A2}}$$

soit

$$(\sigma 2) \quad \forall e_{A1} \quad \pi_A(P_{A2}) - \pi_A(P_A^*) \leq \frac{e_A^*}{e_{A1} + e_A^*} - \frac{e_{A2}}{e_{A1} + e_{A2}} \times M$$

3. Le joueur A doit préférer la stratégie « bonus » à la stratégie « malus ». Le profit maximal en « malus » doit donc être inférieur au profit maximal en « bonus ».

$$(\sigma 3) \quad \pi_i(C, c_i, P_{bonus,i}^*, P_{-i}) + \frac{1}{2}M \geq \pi_i(C, c_i, P_{malus,i}^*, P_{-i}) - m \times (P_{malus,i}^* - V_{p,A})$$

(Les 2 joueurs A étant considérés identiques, on suppose qu'ils jouent la même chose lorsqu'ils choisissent la stratégie « bonus » et se partagent donc la cagnotte M équitablement)

Ces trois contraintes nous permettent de construire la courbe de profit dans le jeu pour les joueurs A en année moyenne (Figure IV - 2). Les courbes en années sèche et humide sont obtenues par

décalage de la courbe de l'année moyenne sur l'axe des abscisses. Les fonctions de profit sont détaillées dans l'AnnexeV? – instructions du jeu.

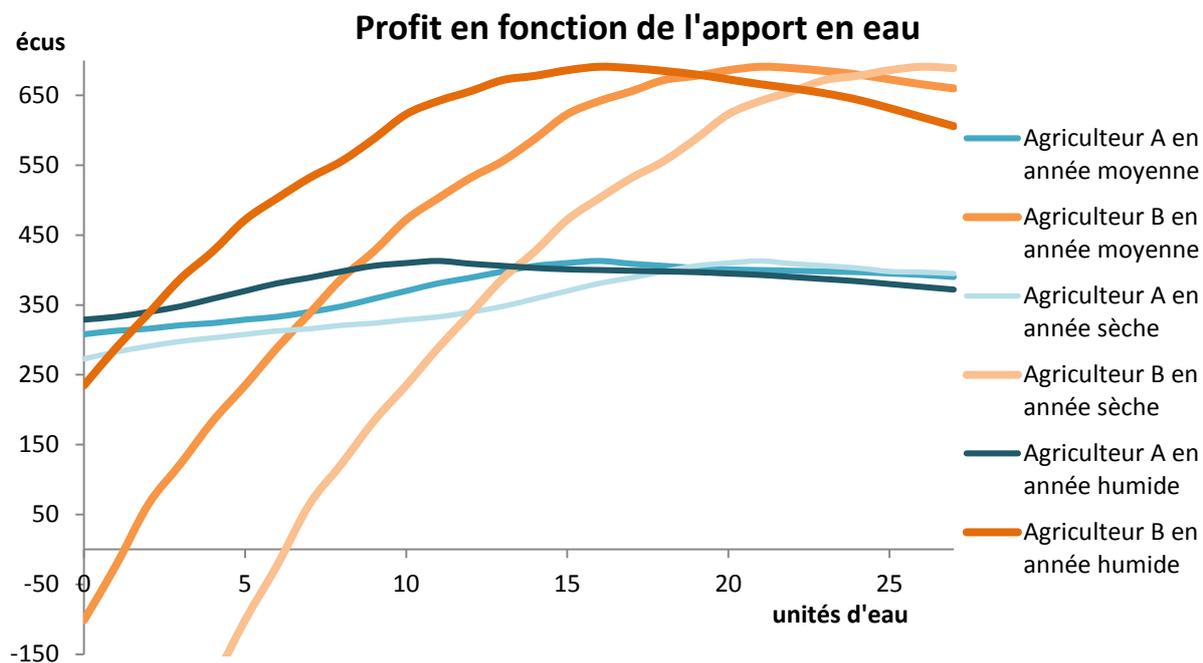


Figure IV - 2 : Fonctions de profit des agriculteurs dans le jeu, en année moyenne. Les courbes en années sèche et humide s'obtiennent par décalage vers la droite ou la gauche de l'axe des abscisses.

Annexe V

Instructions de l'expérience

Instructions de l'expérience

BIENVENUE

Nous vous remercions d'avoir accepté de participer à cette expérience d'économie. Celle-ci vise à étudier différents modes de gestion de la ressource en eau souterraine pour l'irrigation.

DEROULEMENT

Cette expérience dure 2h30. Vous jouerez à **3 jeux différents**, dont les règles vous seront communiquées au fur et à mesure. Les deux premiers jeux comportent 9 tours, le troisième comporte 12 tours (figure 1).

Vous êtes membre d'un groupe de 3 agriculteurs, dont vous ignorez l'identité et qui ignorent la vôtre. Les groupes sont constitués aléatoirement, restent stables à l'intérieur d'un jeu et changent à chaque jeu (figure 1).

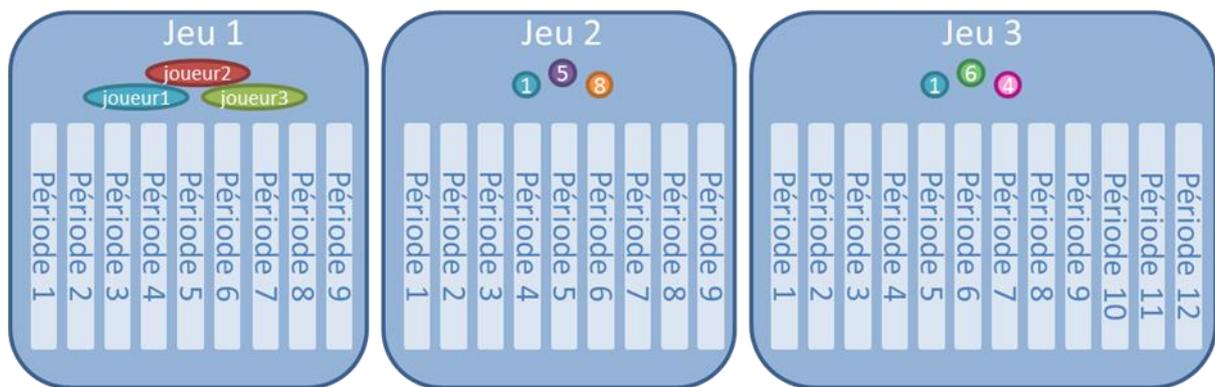


Figure 1 : Déroulement de l'expérience et appariement des joueurs

ANONYMAT

Vos décisions sont anonymes, sauf indication contraire dans les règles du jeu. Afin de respecter au mieux cette contrainte, nous vous demandons de ne pas discuter entre vous au cours de l'expérience et ne pas commenter vos résultats à voix haute.

REMUNERATION

A la fin de la session, vous percevrez une rémunération **déterminée par vos performances** dans les jeux selon la règle de calcul suivante :

- 3 tours seront tirés au sort (un dans chaque jeu)
- la moyenne de vos 3 profits obtenus lors de ces tours détermine votre gain selon le taux de conversion suivant : **20 écus = 1€**. (en cas de gain négatif, le gain est rapporté à 0)

QUESTIONNAIRES

Chaque jeu débute par des questions de compréhension et est suivi d'un questionnaire. Vos réponses à ces questions n'auront **aucune incidence sur votre gain**.

UNE QUESTION ?

Si, au cours de l'expérience, vous avez une question, n'hésitez pas à lever la main : nous viendrons vous répondre individuellement.

Règles du jeu n°1

Vous êtes un agriculteur. Vous irriguez vos cultures à partir d'une nappe d'eau souterraine. Cette nappe est exploitée par votre groupe de 3 agriculteurs. Dans ce groupe, il y a 2 agriculteurs de type A et 1 agriculteur de type B.

Rôle

Au début du jeu, vous serez désigné aléatoirement :

- **Agriculteur de type A** : vous cultivez des céréales. Votre capacité technique de prélèvement vous permet de prélever jusqu'à 27 unités d'eau chaque année. Cependant, afin de préserver la nappe, vous êtes autorisé à prélever 8 unités d'eau.
OU
- **Agriculteur de type B** : vous cultivez une culture spéciale à haute valeur ajoutée. Votre capacité technique de prélèvement vous permet de prélever jusqu'à 27 unités d'eau chaque année. Cependant, afin de préserver la nappe, vous êtes autorisé à prélever 12 unités d'eau.

Une fois votre rôle attribué, vous le conservez tout au long de l'expérience.

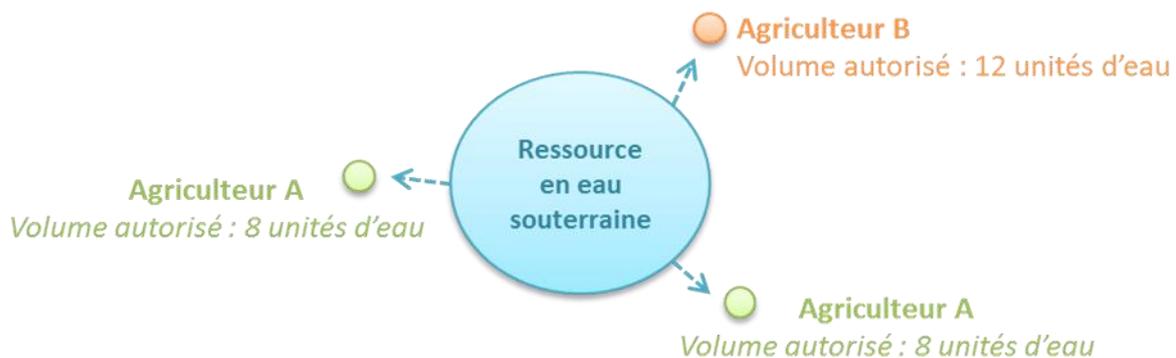


Figure 2 : Schéma représentant le contexte du jeu : la nappe, les 3 préleveurs et les volumes autorisés

Décision

Un tour correspond à une année. A chaque tour, vous choisissez le volume que vous souhaitez prélever dans la nappe pour l'irrigation de votre culture. Ce volume est compris entre 0 et 27 unités d'eau. Le volume prélevé est utilisé pour irriguer vos cultures et détermine votre profit.

Climat

Le climat de l'année n'est pas connu à l'avance : l'année peut être sèche, moyenne ou humide. Pour obtenir un même profit, il faut davantage prélever en année sèche qu'en moyenne, et davantage en année moyenne qu'en année humide. Les 3 types d'années ont la même probabilité d'arriver (1/3).

Le climat de l'année étant incertain, vous choisissez votre prélèvement en 2 temps :

1. Au début de la saison d'irrigation, vous indiquez une **intention de prélèvement** (volume compris entre 0 et 27 unités d'eau).

2. En milieu de saison, vous êtes informé du climat de l'année (sec, moyen ou humide). Vous pouvez alors ajuster votre prélèvement en eau :
 - a. Si vous décidez de réduire votre prélèvement : la saison ayant débuté, vous avez déjà commencé à irriguer et vous ne pouvez pas réduire votre prélèvement en deçà de 50% de votre intention de prélèvement indiquée à l'étape 1 (arrondi à l'unité au-dessus).
 - b. Si vous décidez d'augmenter votre prélèvement : vos choix cultureux et techniques étant faits, vous ne pouvez augmenter votre prélèvement de plus de 5 unités par rapport à votre intention de prélèvement (sans aller au-delà de 27).

Ce choix constitue votre **décision finale de prélèvement**. Elle détermine votre profit.

La table 1 présente le profit d'un agriculteur de type A en fonction de son prélèvement en eau, la table 2 celui d'un agriculteur de type B.

Exemple :

1. *Vous êtes un agriculteur de type B. Vous disposez donc d'un volume autorisé de 12 unités d'eau. En début de saison, vous choisissez une intention de prélèvement de **10** unités d'eau.*
2. *En cours de saison, vous apprenez que l'année sera **humide**.*
Vous pouvez réajuster votre prélèvement :
 - a. *Vous ne pouvez pas réduire votre prélèvement en-deçà de 5 unités (50% de 10).*
 - b. *Vous ne pouvez pas augmenter votre prélèvement au-delà 15 unités (10+5).*
3. *Vous décidez d'ajuster votre prélèvement à **8** unités d'eau. D'après la table 2 (Année humide), votre profit pour cette année s'élève à 556 écus.*

Vous allez jouer selon ces règles pendant 9 tours. Pendant ces 9 tours, vous conserverez les mêmes partenaires de jeu.

Profit en fonction du prélèvement en eau

Prélèvement en unités d'eau	Profit en année sèche (en écus)	Profit en année moyenne (en écus)	Profit en année humide (en écus)
0	273	308	329
1	283	313	333
2	291	316	340
3	298	321	348
4	303	324	359
5	308	329	370
6	313	333	381
7	316	340	389
8	321	348	398
9	324	359	406
10	329	370	410
11	333	381	413
12	340	389	409
13	348	398	406
14	359	406	403
15	370	410	401
16	381	413	400
17	389	409	399
18	398	406	398
19	406	403	397
20	410	401	395
21	413	400	393
22	409	399	390
23	406	398	387
24	403	397	384
25	398	395	380
26	397	393	376
27	395	390	372

Profit en fonction du prélèvement en eau

Prélèvement en unités d'eau	Profit en année sèche (en écus)	Profit en année moyenne (en écus)	Profit en année humide (en écus)
0	-662	-101	235
1	-533	-22	289
2	-408	65	338
3	-293	123	388
4	-192	184	427
5	-101	235	472
6	-22	289	503
7	65	338	532
8	123	388	556
9	184	427	588
10	235	472	623
11	289	503	642
12	338	532	656
13	388	556	672
14	427	588	678
15	472	623	686
16	503	642	691
17	532	656	689
18	556	672	685
19	588	678	680
20	623	686	673
21	642	691	666
22	656	689	660
23	672	685	653
24	678	680	644
25	686	673	632
26	691	666	619
27	689	660	606

Règles du jeu n°2

Ce jeu comporte 9 tours. Les groupes de 3 sont reconstitués aléatoirement et vous conservez les mêmes partenaires pendant tout le jeu. Les règles du jeu précédent sont toujours valables. Vous conservez le rôle (agriculteur A ou B) qui vous a été attribué au début de l'expérience.

Dans ce jeu, 2 nouvelles règles sont ajoutées :

- Les agriculteurs qui prélèvent **plus** que leur volume autorisé paient les **unités supplémentaires** à hauteur de **10 écus par unité d'eau**. L'ensemble des paiements pour dépassement constitue une cagnotte.
- Cette cagnotte est **entièrement redistribuée** aux agriculteurs qui prélèvent **moins** que leur volume autorisé. Le partage de la cagnotte se fait **au prorata des unités d'eau économisées**. Le montant reçu individuellement varie donc chaque année en fonction de la cagnotte constituée et des unités économisées par chaque joueur.

Ce système est annuel : la cagnotte est constituée et redistribuée entièrement à chaque tour.

Votre profit est donc modifié par ces nouvelles règles du jeu. La Table 3 présente le profit de l'agriculteur de type A dans ce nouveau système et la Table 4 celui de l'agriculteur de type B.

*Exemple : Supposons que l'année soit **moyenne** et que le bilan de l'année soit le suivant :*

- *L'agriculteur 1, de type A, a prélevé 6 unités d'eau, soit 2 de moins que son volume autorisé*
- *L'agriculteur 2, de type A, a prélevé 12 unités d'eau, soit 4 de plus que son volume autorisé*
- *L'agriculteur 3, de type B, a prélevé 9 unités d'eau, soit 3 de moins que son volume autorisé*

L'agriculteur 2 paie pour son dépassement : $4 \times 10 = 40$ écus. Son profit est de 349 écus (cf Table 3 – Année moyenne).

Les agriculteurs 1 et 3 ont économisé de l'eau et vont se partager la cagnotte de 40 écus :

- *L'agriculteur 1 a économisé 2 unités d'eau sur les 5 économisées au total, soit 40%. Il récupère donc 40% de la cagnotte, soit 16 écus. Son profit est donc de : $333 + 16 = 349$ écus.*
- *L'agriculteur 3 a économisé 3 unités d'eau sur les 5 économisées au total, soit 60%. Il récupère donc 60% de la cagnotte, soit 24 écus. Son profit est donc de : $427 + 24 = 451$ écus.*

Profit en fonction du prélèvement en eau

En-deçà du volume autorisé, le profit dépend du montant reçu pour les économies réalisées (noté x).
Au-delà, le paiement pour dépassement est intégré dans le calcul du profit.

Prélèvement en unités d'eau	Profit en année sèche (en écus)	Profit en année moyenne (en écus)	Profit en année humide (en écus)
0	273 + x	308 + x	329 + x
1	283 + x	313 + x	333 + x
2	291 + x	316 + x	340 + x
3	298 + x	321 + x	348 + x
4	303 + x	324 + x	359 + x
5	308 + x	329 + x	370 + x
6	313 + x	333 + x	381 + x
7	316 + x	340 + x	389 + x
8	321	348	398
9	324 - 10 = 314	359 - 10 = 349	406 - 10 = 396
10	329 - 20 = 309	370 - 20 = 350	410 - 20 = 390
11	333 - 30 = 303	381 - 30 = 351	413 - 30 = 383
12	340 - 40 = 300	389 - 40 = 349	409 - 40 = 369
13	348 - 50 = 298	398 - 50 = 348	406 - 50 = 356
14	359 - 50 = 299	406 - 60 = 346	403 - 60 = 343
15	370 - 70 = 300	410 - 70 = 340	401 - 70 = 331
16	381 - 80 = 301	413 - 80 = 333	400 - 80 = 320
17	389 - 90 = 299	409 - 90 = 319	399 - 90 = 309
18	398 - 100 = 298	406 - 100 = 306	398 - 100 = 298
19	406 - 110 = 296	403 - 110 = 293	397 - 110 = 287
20	410 - 120 = 290	401 - 120 = 281	395 - 120 = 275
21	413 - 130 = 283	400 - 130 = 270	393 - 130 = 263
22	409 - 140 = 269	399 - 140 = 259	390 - 140 = 250
23	406 - 150 = 256	398 - 150 = 248	387 - 150 = 237
24	403 - 160 = 243	397 - 160 = 237	384 - 160 = 224
25	398 - 170 = 228	395 - 170 = 225	380 - 170 = 210
26	397 - 180 = 217	393 - 180 = 213	376 - 180 = 196
27	395 - 190 = 205	390 - 190 = 200	372 - 190 = 182

Profit en fonction du prélèvement en eau

En-deçà du volume autorisé, le profit dépend du montant reçu pour les économies réalisées (noté x).
Au-delà, le paiement pour dépassement est intégré dans le calcul du profit.

Prélèvement en unités d'eau	Profit en année sèche (en écus)	Profit en année moyenne (en écus)	Profit en année humide (en écus)
0	-662 + x	-101 + x	235 + x
1	-533 + x	-22 + x	289 + x
2	-408 + x	65 + x	338 + x
3	-293 + x	123 + x	388 + x
4	-192 + x	184 + x	427 + x
5	-101 + x	235 + x	472 + x
6	-22 + x	289 + x	503 + x
7	65 + x	338 + x	532 + x
8	123 + x	388 + x	556 + x
9	184 + x	427 + x	588 + x
10	235 + x	472 + x	623 + x
11	289 + x	503 + x	642 + x
12	338	532	656
13	388 - 10 = 378	556 - 10 = 546	672 - 10 = 662
14	427 - 20 = 407	588 - 20 = 568	678 - 20 = 658
15	472 - 30 = 442	623 - 30 = 593	686 - 30 = 656
16	503 - 40 = 463	642 - 40 = 602	691 - 40 = 651
17	532 - 50 = 482	656 - 50 = 606	689 - 50 = 639
18	556 - 60 = 496	672 - 60 = 612	685 - 60 = 625
19	588 - 70 = 518	678 - 70 = 608	680 - 70 = 610
20	623 - 80 = 543	686 - 80 = 606	673 - 80 = 593
21	642 - 90 = 552	691 - 90 = 601	666 - 90 = 576
22	656 - 100 = 556	689 - 100 = 589	660 - 100 = 560
23	672 - 110 = 562	685 - 110 = 575	653 - 110 = 543
24	578 - 120 = 558	680 - 120 = 560	644 - 120 = 524
25	586 - 130 = 556	673 - 130 = 543	632 - 130 = 502
26	691 - 140 = 551	666 - 140 = 526	619 - 140 = 479
27	689 - 150 = 539	660 - 150 = 510	606 - 150 = 456

Règles du jeu n° 3

Ce jeu comporte 12 tours. Les groupes de 3 sont reconstitués aléatoirement et vous conservez les mêmes partenaires pendant tout le jeu. Vous conservez le rôle (agriculteur A ou B) qui vous a été attribué au début de l'expérience.

Pendant les 9 premiers tours de ce jeu, vous êtes liés à vos 2 partenaires de jeu par **un contrat**. Les caractéristiques de ce contrat sont :

- **Des profits plus élevés** que si vous étiez en individuel (en dehors du contrat). Ces profits sont présentés dans les Tables 5 et 6 (colonnes « En CONTRAT »).
- Un regroupement des autorisations individuelles en une **autorisation collective de 28 unités** d'eau (8 + 8 + 12) ;
- **Une sanction collective** si le volume total prélevé par les trois agriculteurs dépasse l'autorisation collective. **Chaque agriculteur**, quel que soit son prélèvement individuel, paie le dépassement **total**, à hauteur de 20 écus/unité d'eau.
- **Une transparence des prélèvements** : les intentions de prélèvement en début de saison et les prélèvements définitifs en milieu de saison sont dévoilés à tous les joueurs du groupe.

A partir du 10^{ème} tour, vous avez le choix entre **vous retirer du contrat ou y rester**. Si au moins un des trois préleveurs souhaite se retirer, alors le contrat est **rompu** : tous les joueurs jouent en individuel jusqu'à la fin du jeu. **Le jeu en individuel** est caractérisé par :

- **Une autorisation individuelle** (de 8 ou 12 unités selon le type d'agriculteur que vous êtes)
- **Des profits plus faibles** qu'en contrat. Les Tables 5 et 6 (colonne « En INDIVIDUEL ») présentent les profits correspondants.
- **Une sanction individuelle** de 10 écus/unité d'eau en cas de dépassement de l'autorisation individuelle (cette sanction est déjà intégrée dans les profits indiqués dans les Tables 5 et 6, colonne « En INDIVIDUEL »).
- Des données de prélèvement **non dévoilées**.

La possibilité de vous retirer du contrat vous est offerte à chaque début de tour tant que vous êtes en contrat. A l'inverse, il est impossible de recréer un contrat une fois que celui-ci est rompu.

Exemple :

*Trois agriculteurs sont **en contrat**. Supposons que l'année soit humide et que le bilan de l'année soit le suivant :*

- *L'agriculteur 1, de type A, a prélevé 6 unités d'eau*
- *L'agriculteur 2, de type A, a prélevé 9 unités d'eau*
- *L'agriculteur 3, de type B, a prélevé 12 unités d'eau*

Le prélèvement du groupe est donc de 27 unités d'eau, ce qui respecte l'autorisation collective de 28 unités d'eau. Aucune pénalité n'est appliquée et les profits des joueurs sont :

- *Agriculteur 1 : 394 écus*
- *Agriculteur 2 : 419 écus*

- *Agriculteur 3 : 776 écus*

Supposons qu'au tour suivant, l'année soit sèche et le bilan soit le suivant :

- *L'agriculteur 1, de type A, a prélevé 8 unités d'eau*
- *L'agriculteur 2, de type A, a prélevé 9 unités d'eau*
- *L'agriculteur 3, de type B, a prélevé 13 unités d'eau*

*Le prélèvement du groupe est donc de 30 unités d'eau, ce qui ne respecte pas l'autorisation collective de 28 unités d'eau. Une **sanction collective** est donc appliquée. Tous les agriculteurs doivent payer $(30-28) \times 20 = 40$ écus. Les profits sont donc :*

- *Agriculteur 1 : 294 écus (334 – 40)*
- *Agriculteur 2 : 297 écus (337 – 40)*
- *Agriculteur 3 : 468 écus (508 – 40)*

*Au tour suivant, un des joueurs souhaite se retirer du contrat. Le contrat est rompu et les joueurs terminent le jeu **en individuel**. Supposons que l'année soit moyenne et le bilan des prélèvements le suivant :*

- *L'agriculteur 1, de type A, a prélevé 10 unités d'eau*
- *L'agriculteur 2, de type A, a prélevé 9 unités d'eau*
- *L'agriculteur 3, de type B, a prélevé 12 unités d'eau*

Les profits sont donc :

- *Agriculteur 1 : 350 écus*
- *Agriculteur 2 : 349 écus*
- *Agriculteur 3 : 532 écus*

Profit en fonction du prélèvement en eau

Prélèvement	Profit en année sèche (en écus)		Profit en année moyenne (en écus)		Profit en année humide (en écus)	
	En CONTRAT	En INDIVIDUEL	En CONTRAT	En INDIVIDUEL	En CONTRAT	En INDIVIDUEL
0	286	273	321	308	342	329
1	296	283	326	313	346	333
2	304	291	329	316	353	340
3	311	298	334	321	361	348
4	316	303	337	324	372	359
5	321	308	342	329	383	370
6	326	313	346	333	394	381
7	329	316	353	340	402	389
8	334	321	361	348	411	398
9	337	314	372	349	419	396
10	342	309	383	350	423	390
11	346	303	394	351	426	383
12	353	300	402	349	422	369
13	361	298	411	348	419	356
14	372	299	419	346	416	343
15	383	300	423	340	414	331
16	394	301	426	333	413	320
17	402	299	422	319	412	309
18	411	298	419	306	411	298
19	419	296	416	293	410	287
20	423	290	414	281	408	275
21	426	283	413	270	406	263
22	422	269	412	259	403	250
23	419	256	411	248	400	237
24	416	243	410	237	397	224
25	411	228	408	225	393	210
26	410	217	406	213	389	196
27	408	205	403	200	385	182

Profit en fonction du prélèvement en eau

Prélèvement	Profit en année sèche (en écus)		Profit en année moyenne (en écus)		Profit en année humide (en écus)	
	En CONTRAT	En INDIVIDUEL	En CONTRAT	En INDIVIDUEL	En CONTRAT	En INDIVIDUEL
0	-542	-662	19	-101	355	235
1	-413	-533	98	-22	409	289
2	-288	-408	185	65	458	338
3	-173	-293	243	123	508	388
4	-72	-192	304	184	547	427
5	19	-101	355	235	592	472
6	98	-22	409	289	623	503
7	185	65	458	338	652	532
8	243	123	508	388	676	556
9	304	184	547	427	708	588
10	355	235	592	472	743	623
11	409	289	623	503	762	642
12	458	338	652	532	776	656
13	508	378	676	546	792	662
14	547	407	708	568	798	658
15	592	442	743	593	806	656
16	623	463	762	602	811	651
17	652	482	776	606	809	639
18	676	496	792	612	805	625
19	708	518	798	608	800	610
20	743	543	806	606	793	593
21	762	552	811	601	786	576
22	776	556	809	589	780	560
23	792	562	805	575	773	543
24	798	558	800	560	764	524
25	806	556	793	543	752	502
26	811	551	786	526	739	479
27	809	539	780	510	726	456

Annexe VI

Captures d'écran du jeu sous Z-Tree

Questions de compréhension au début du jeu

Période

1 sur 1

Temps restant en seconde 22

Vous n'avez pas répondu correctement à la question 1. La bonne réponse était :
Supposons que l'année soit humide. Un agriculteur de type A prélève 6 unités d'eau.
Quel est son profit? **381** écus (Table 1 - Année humide)

Veuillez répondre à la Question 1bis :
Supposons que l'année soit sèche. Un agriculteur de type B prélève 11 unités d'eau.
Quel est son profit? 333
 289
 503

OK

Annonce de l'attribution du rôle

Période

1 sur 1

Temps restant en seconde 25

Pour l'ensemble du jeu, vous conserverez le même rôle.
Vous êtes un **agriculteur A** : vous cultivez la **culture A** et disposez d'un volume prélevable de **8 unités d'eau**.
Cliquez sur OK pour continuer.

OK

Choix de l'intention de prélèvement

Période 1 sur 1 Temps restant en seconde 53

INTENTION DE PRELEVEMENT

Nous sommes en début de saison d'irrigation.
Le climat pour l'année est encore inconnu.
Veuillez entrer votre **intention de prélèvement** pour l'année(en unités d'eau) :

OK

Prélèvement définitif

Période 1 sur 1 Temps restant en seconde 46

PRELEVEMENT DEFINITIF

La saison d'irrigation a débuté. Nous savons désormais que l'année climatique sera **MOYENNE**.

Connaissant le climat de l'année, vous avez la possibilité d'ajuster votre prélèvement.
Entrez votre **décision finale** de prélèvement

Rappel : Vous aviez l'intention de prélever **12 unités d'eau**.
Votre **décision finale de prélèvement** doit donc être comprise entre **6 unités d'eau**
et **17 unités d'eau**.

OK

Résultats d'une période de jeu avec le bonus-malus

Période	1 sur 2	Temps restant en seconde	3
 BILAN DE LA SAISON			
Cette année, les agriculteurs ont prélevé au total 29 unités d'eau dans la nappe. Le volume total autorisé dans la nappe a donc été dépassé			
La somme des dépassements individuels est de 5 unités d'eau. La cagnotte collectée et à redistribuer s'élève donc à 50 écus. La somme des économies d'eau individuelles est de 4 unités d'eau. Ainsi, pour cette année, chaque unité d'eau économisée rapporte 12.5 écus.			
Cette année, vous avez économisé 2 unité(s) soit 50% des économies totales ce qui vous a rapporté 25 écus. Votre profit pour cette année est donc de 358 écus			
			Cliquez sur OK pour poursuivre le jeu.
			<input type="button" value="OK"/>

Dévoilement des intentions de prélèvements dans le contrat

Période	1 sur 2	Temps restant en seconde	13
PRELEVEMENT DEFINITIF			
Les intentions de prélèvement des membres de votre groupe sont :			
Agriculteur 1 (type A) : 7 unités d'eau Agriculteur 2 (type A) : 13 unités d'eau Agriculteur 3 (type B) : 8 unités d'eau			
La saison d'irrigation a débuté. Nous savons désormais que l'année climatique sera MOYENNE .			
Connaissant le climat de l'année, vous avez la possibilité d'ajuster votre prélèvement.			
Entrez votre décision finale de prélèvement <input type="text" value="13"/>			
Rappel : Vous aviez l'intention de prélever 8 unités d'eau .			
Votre décision finale de prélèvement doit donc être comprise entre 4 unités d'eau et 13 unités d'eau .			
Rappel : les autres joueurs seront informés de votre décision finale .			
			<input type="button" value="OK"/>

Résultats d'une période de jeu avec le contrat solidaire

Période 2 sur 11 Temps restant en seconde 44

BILAN DE LA SAISON

Les décisions finales de prélèvement des membres de votre groupe sont :

- Agriculteur 1 (type A) : 12 unités d'eau
- Agriculteur 2 (type A) : 10 unités d'eau
- Agriculteur 3 (type B) : 8 unités d'eau

Cette année, les agriculteurs ont prélevé au total **30** unités d'eau dans la nappe
 Le volume total autorisé dans la nappe a donc été **dépassé** de 2 unités d'eau

Une sanction collective est donc appliquée à votre groupe.

Chacun de vous doit payer : **40 écus.**

Cette année, vous avez prélevé **8** unités d'eau

Votre profit pour cette année est donc de **636 écus (676 - 40)**

Cliquez sur OK pour poursuivre le jeu.

Tour	Contrat	Volume total autorisé dans la nappe	Votre prélèvement	Votre profit	Sanction collective
1	Oui	Respecté	13	676	Non

Choix de rester ou non dans le contrat

Période 10 sur 11 Temps restant en seconde 53

A partir de maintenant, vous avez la possibilité de vous retirer du contrat.

Que souhaitez-vous faire? Je souhaite rester dans le contrat
 Je souhaite rompre le contrat

Rappel : Si vous vous retirez du contrat, il sera rompu définitivement et tous les agriculteurs de votre groupe joueront le reste du jeu en individuel.

Cliquez sur OK pour continuer.

Tour	Contrat	Volume total autorisé dans la nappe	Votre prélèvement	Votre profit	Sanction collective
4	Oui	Respecté	8	334	Non
5	Oui	Respecté	7	353	Non
6	Oui	Dépassé	12	273	Oui
7	Oui	Respecté	5	383	Non
8	Oui	Dépassé	10	323	Oui
9	Oui	Dépassé	10	282	Oui

Annexe VII

Questionnaire « stratégie » de fin de jeu

Questionnaires soumis aux sujets en fin de jeu

Bien qu'il soit présenté ici sous un format traitement de texte, il était soumis au participant via le logiciel Z-tree.

CONCERNANT LE JEU N°1

1) Quelle a été votre principale façon de choisir votre intention de prélèvement? (1 seule réponse possible)

- J'ai choisi le prélèvement qui me générerait un profit maximal en année sèche
- J'ai choisi le prélèvement qui me générerait un profit maximal en année moyenne
- J'ai choisi le prélèvement qui me générerait un profit maximal en année humide
- Je respectais strictement de mon autorisation
- Je dépassais légèrement mon autorisation
- Je choisissais mon prélèvement de façon à ne pas être contraint pour ma décision finale
- Je ne sais pas
- Autre :

.....
.....
.....

2) L'historique en bas de l'écran vous a-t-il influencé dans vos choix? (1 seule réponse possible)

- Oui
- Non
- Je n'ai pas regardé l'historique

Si OUI, quelle donnée vous a le plus influencé ? (1 seule réponse possible)

- Votre prélèvement
- Votre profit
- Le bilan (volume total dépassé ou respecté)

3) Avez-vous fait évoluer votre prélèvement au fur et à mesure des tours de jeu? (1 seule réponse possible)

- Oui, je l'ai augmenté
- Oui, je l'ai réduit
- Oui, sans tendance particulière
- Non

Si OUI, pourquoi ? (1 seule réponse possible)

- Pour augmenter mon profit
- Pour préserver la nappe
- Pour m'adapter au changement d'année climatique
- Autre :

.....
.....
.....

CONCERNANT LE JEU N°2

1) Quelle a été votre principale stratégie dans ce jeu? (1 seule réponse possible)

- Je dépassais mon autorisation
- J'économisais des unités d'eau
- Je respectais strictement mon autorisation
- Je choisisais une intention de prélèvement de façon à ne pas être contraint dans ma décision finale
- Je n'ai pas eu de stratégie particulière

2) Avez-vous, au moins une fois dans le jeu, payé pour dépasser votre autorisation? (1 seule réponse possible)

- Oui
- Non
- Je ne sais pas

Si OUI, quelle en a été la principale raison ?

- Pour gagner plus d'écus
- Parce que c'est moins risqué
- Par principe
- Pour faire comme les autres joueurs
- Autre :

.....
.....

Si NON, quelle en a été la principale raison ?

- Pas intéressant économiquement

- Pour préserver la nappe
- Par principe
- Pour faire comme les autres joueurs
- Autre :

.....
.....

3) Avez-vous, au moins une fois dans le jeu, économisé de l'eau pour recevoir de l'argent? (1 seule réponse possible)

- Oui
- Non
- Je ne sais pas

Si OUI, quelle en a été la principale raison ?

- Pour gagner plus d'écus
- Pour protéger la nappe
- Par principe
- Pour faire comme les autres joueurs
- Autre :

.....
.....

Si NON, quelle en a été la principale raison ?

- Parce que c'est trop risqué
- Parce que ce n'est pas intéressant économiquement
- Par principe
- Pour faire comme les autres joueurs
- Autre :

.....
.....

4) L'historique en bas de l'écran vous a-t-il influencé dans vos choix?

- Oui
- Non
- Je n'ai pas regardé l'historique

Si OUI, quelle donnée vous a le plus influencé ? (1 seule réponse possible)

- Votre prélèvement
- Votre profit
- Le bilan (volume total dépassé ou respecté)
- La rémunération de l'unité d'eau économisée

CONCERNANT LE JEU N°3

1) Auriez-vous aimé avoir la possibilité de rompre le contrat plus tôt qu'au 10ème tour? (1 seule réponse possible)

- Oui
- Non
- Je ne sais pas

2) Si votre contrat a été rompu pendant le jeu, auriez-vous aimé pouvoir le recréer? (1 seule réponse possible)

- Oui
- Non
- Je ne sais pas
- Non concerné

3) Si vous avez rompu le contrat pendant le jeu, quelle en a été la principale raison? (1 seule réponse possible)

- Je ne veux pas que mon profit dépende des autres
- J'ai eu une mauvaise expérience du contrat pendant le jeu (sanction collective)
- Je préfère une gestion et une autorisation individuelles
- Je ne fais pas confiance aux autres joueurs
- Le contrat est trop risqué
- Je ne veux pas que mes prélèvements soient dévoilés aux autres
- J'ai rompu le contrat pour désapprouver le comportement des autres joueurs
- J'étais le seul à faire des efforts d'économies d'eau
- Non concerné : je n'ai pas voulu rompre le contrat
- Autre :
-
-

4) Si vous avez souhaité maintenir le contrat pendant le jeu, quelle en a été la principale raison? (1 seule réponse possible)

- Les profits sont plus élevés dans le contrat

- J'ai eu une bonne expérience du contrat dans le jeu (pas ou peu de sanction collective)
- J'aime la souplesse de l'autorisation collective
- Je fais confiance aux autres joueurs
- Je suis pour une transparence des prélèvements
- Je préfère une gestion et une autorisation collective
- Je veux connaître les prélèvements des autres joueurs
- Non concerné : je n'ai pas souhaité maintenir le contrat
- Autre :.....
.....
.....

5) Comment la transparence des prélèvements a-elle influencé vos décisions de prélèvements? (1 seule réponse possible)

- J'ai réduit mes prélèvements
- J'ai augmenté mes prélèvements
- La transparence n'a pas influencé mes décisions de prélèvement
- Autre :.....
.....
.....

Si elle a influencé vos décisions de prélèvement, pourquoi ?

- Parce que les autres joueurs prélevaient trop
- Parce que les autres joueurs prélevaient peu
- Parce que j'avais peur qu'un autre joueur rompe le contrat
- Parce que j'avais peur de la sanction collective
- Pour respecter l'autorisation collective
- Pour faire comme les autres joueurs

6) Comment la transparence des prélèvements a-elle influencé votre décision concernant le maintien ou la rupture du contrat ? (1 seule réponse possible)

- J'ai rompu le contrat
- J'ai maintenu le contrat
- La transparence n'a pas influencé ma décision concernant le contrat
- Autre :.....
.....
.....

Si elle a influencé votre décision concernant le contrat, pourquoi ? (1 seule réponse possible)

- Parce que les autres joueurs prélevaient trop
- Parce que les autres joueurs prélevaient peu
- Parce que nous faisons tous des efforts
- Parce que j'étais le seul à faire des efforts
- Autre :
-
-

7) L'historique en bas de l'écran vous a-t-il influencé dans vos choix? (1 seule réponse possible)

- Oui
- Non
- Je n'ai pas regardé l'historique

Si OUI, quelle donnée vous a le plus influencé? (1 seule réponse possible)

- Votre prélèvement
- Votre profit
- Le bilan (volume total dépassé ou respecté)
- L'application d'une sanction collective

Pour mieux vous connaître *(field experiments - agriculteur)*

Âge :

Genre : Homme Femme

Présence aux ateliers de prospective : Oui Non

Votre SAU : ha

Vos surfaces irriguées : ha

Vos principales cultures irriguées :

- Maïs (grain, ensilage)
- Maïs semences
- Blé
- Orge

- Tournesol
- Soja
- Sorgho
- Pois
- Luzerne
- Prairies
- Tabac
- Maraîchage
- Arboriculture
- Melon
- Pépinières
- Pommes de terre
- Oignons
- Légumes de conserve (pois, haricot, carottes, flageolets, salsifis,..)
- Betteraves
- Autre :

Pour mieux vous connaître *(field experiments - institutionnel)*

Âge :

Genre : Homme Femme

Présence aux ateliers de prospective : Oui Non

Institution représentée :

TABLE DES MATIERES

Introduction	19
CHAPITRE 1 Conception de deux instruments pour réguler les prélèvements agricoles en nappe	27
1. Problématique et objectifs des instruments.....	28
1.1. Comment limiter les prélèvements agricoles ?.....	28
1.2. Positionnement du problème et objectifs des instruments.....	29
1.2.1. Positionnement du problème : allocations individuelles et flexibilité.....	29
1.2.2. Objectifs des instruments de régulation	30
2. Instruments pour la régulation des prélèvements dans une ressource commune : un état de l'art	31
2.1. Instruments basés sur les incitations économiques.....	31
2.2. Instruments exploitant les préférences sociales.....	33
2.2.1. Punitions et récompenses par les pairs	34
2.2.2. Information et transparence	34
2.2.3. Communication entre usagers	35
2.2.4. Exploitation des normes sociales.....	35
3. Instruments de régulation n°1 : le bonus-malus.....	37
3.1. Principe général.....	37
3.2. Modélisation du bonus-malus.....	38
3.2.1. Fonctions de profit.....	38
3.2.2. Détermination du montant du malus	41
3.2.2.1. Condition d'hétérogénéité des stratégies.....	41
3.2.2.2. Condition de compensation des volumes	44
3.2.2.3. Conclusion sur le montant du malus	44
4. Instrument de régulation n°2 : le contrat solidaire.....	45
4.1. Principe.....	45
4.2. Modélisation du contrat solidaire	47
4.2.1. Contrainte d'incitation.....	48

4.2.2.	Contrainte de participation	49
4.2.3.	Conclusion.....	50
CHAPITRE 2 Méthodologie d'évaluation des instruments.....		53
1.	Objectifs de l'évaluation et choix méthodologiques généraux.....	54
1.1.	Objectifs de l'évaluation.....	54
1.2.	Deux méthodes d'évaluation complémentaires	55
1.2.1.	Une évaluation ex-ante	55
1.2.2.	Une implication des acteurs dans la recherche	56
2.	Evaluation par l'approche de prospective participative	58
2.1.	Une approche inspirée des méthodes de recherche participative	58
2.2.	Une approche participative, prospective et exploratoire	59
2.2.1.	Principes généraux	59
2.2.2.	Méthodologie opérationnelle.....	61
3.	Approche expérimentale.....	62
3.1.	Objectifs.....	62
3.2.	Une expérience impliquant la population cible	63
3.3.	Une expérience contextualisée	64
3.4.	Un protocole original pour une meilleure validité externe.....	65
3.5.	Recueil d'information pour une meilleure interprétation des résultats.....	67
4.	Une démarche répliquée sur 5 terrains d'étude	68
4.1.	Critères de choix des terrains.....	69
4.2.	Une diversité de situations locales.....	70
4.2.1.	Bassin de la Serre	71
4.2.2.	Plaine alluviale de Valence	72
4.2.3.	Nappe de l'Est Lyonnais	72
4.2.4.	Plaine alluviale du Tarn et de la Garonne.....	72
4.2.5.	Bassin du Clain.....	75
CHAPITRE 3 Evaluation des instruments par une méthode participative.....		77
1.	Méthodologie des ateliers.....	78

1.1.	Une approche par des scénarios prospectifs	78
1.1.1.	Des scénarios narratifs et prospectifs	78
1.1.2.	Situation initiale : le scénario tendanciel.....	79
1.1.3.	Des scénarios adaptés aux terrains d'étude	80
1.2.	Recrutement des participants et constitution des groupes.....	81
1.3.	Déroulement des ateliers.....	82
1.4.	Méthode d'analyse.....	84
2.	Résultats par instrument.....	87
2.1.	Vue d'ensemble des résultats	87
2.2.	Bonus-Malus.....	89
2.2.1.	Perception globale	89
2.2.2.	Des incitations trop faibles pour induire un réel changement	90
2.2.3.	Une dimension financière rejetée sur des bases morales et éthiques.....	91
2.2.4.	Un système répressif nécessaire mais source d'injustice	91
2.2.5.	Renforcer l'efficacité et l'acceptabilité du bonus-malus	95
2.3.	Contrat solidaire	95
2.3.1.	Perception globale	95
2.3.2.	Un instrument économiquement intéressant mais risqué	96
2.3.3.	Un instrument conforme à l'idéal de gestion collective	97
2.3.4.	Un outil qui sera sous-utilisé	98
3.	Conditions locales favorisant la mise en œuvre des instruments.....	101
3.1.	Analyse comparée des résultats entre terrains d'étude.....	101
3.1.1.	Vue d'ensemble des différences.....	101
3.1.2.	Arguments spécifiques par terrain.....	103
3.1.2.1.	Bassin de la Serre, Aisne.....	104
3.1.2.2.	Plaine de Valence, Drôme	104

3.1.2.3.	Est Lyonnais, Rhône.....	105
3.1.2.4.	Plaine du Tarn-et-Garonne	105
3.1.2.5.	Bassin du Clain, Vienne	106
3.1.3.	Interprétation des différences entre les terrains	107
3.2.	Facteurs contextuels influençant la réussite des instruments de régulation	109
3.2.1.	Bonus-malus	109
3.2.2.	Contrat solidaire	111
4.	Retour sur les hypothèses de comportements	113
4.1.1.	Remise en question de la rationalité économique	114
4.1.2.	Prédominance des motivations économiques	114
CHAPITRE 4 Evaluation des instruments par l'économie expérimentale.....		117
1.	Le jeu : extraction d'une ressource commune par des préleveurs hétérogènes et instrument de régulation	118
1.1.	Cadre général	118
1.1.1.	Ressource et volume prélevable total	118
1.1.2.	Hétérogénéité des agriculteurs	119
1.1.3.	Incertitude climatique	120
1.1.4.	Processus de décision	121
1.2.	Instruments de régulation et traitements.....	122
1.2.1.	Traitement de contrôle ($T0$).....	122
1.2.2.	Bonus-Malus ($T1$).....	122
1.2.3.	Contrat solidaire ($T2$)	123
1.3.	Paramètres du jeu	124
2.	Prédictions théoriques	127
2.1.	Traitement de contrôle ($T0$)	127
2.2.	Bonus-malus ($T1$).....	127
2.3.	Contrat solidaire ($T2$).....	131

2.3.1.	Première partie du jeu: en contrat obligatoire	131
2.3.2.	Seconde partie : vote et jeu hors contrat.....	134
3.	Procédure expérimentale.....	135
3.1.	Organisation des sessions expérimentales	135
3.2.	Rôles et informations à disposition des sujets.....	138
3.3.	Questionnaires et débriefing.....	139
4.	Résultats.....	140
4.1.	Traitement de contrôle (T0)	140
4.2.	Traitement Bonus-Malus (T1).....	148
4.3.	Traitement Contrat solidaire (T2).....	153
4.4.	Comparaisons des traitements	158
4.4.1.	Efficacité	158
4.4.2.	Valeur de production agricole et efficience.....	159
4.4.2.1.	Valeur de la production agricole	159
4.4.2.2.	Efficience.....	161
4.4.3.	Fiabilité.....	162
5.	Discussion.....	163
5.1.	Des instruments aux effets agrégés similaires	163
5.2.	Une rationalité étendue	164
5.3.	Effet de contexte	165
5.4.	Problématique de l'année sèche.....	166
5.5.	Implications économiques.....	167
	DISCUSSION - CONCLUSION.....	169
1.	Implications en termes de politiques publiques	169
1.1.	Des incitations à adapter à une fonction d'utilité étendue	169
1.2.	Inefficacité des instruments en situation de sécheresse	172
1.3.	Des incitations à adapter au contexte local	172
1.4.	Enjeux d'une gestion décentralisée	173
2.	Apport méthodologique de la thèse	174
2.1.	Intérêts et limites de l'implication des acteurs dans la démarche d'évaluation.....	174
2.1.1.	Une implication nécessaire pour une évaluation robuste	174

2.1.2.	Difficultés à engager les acteurs dans la démarche	175
2.1.3.	Limites des expériences avec les acteurs locaux	175
2.1.4.	Une démarche appréciée par les participants	176
2.2.	La combinaison des deux méthodes d'évaluation : intérêts et limites.....	177
3.	Perspectives de recherche	178
	Références bibliographiques.....	181
	Annexes	189

Résumé

Pour empêcher la surexploitation des ressources naturelles, les décideurs publics peuvent choisir d'attribuer de quotas individuels de prélèvement. Or, dans le cas des prélèvements en eau souterraine pour l'irrigation, la demande en eau des agriculteurs est susceptible de subir des variations interannuelles significatives en fonction des conditions agronomiques, climatiques et économiques annuelles. La thèse propose et évalue deux instruments de régulation des prélèvements agricoles en nappe qui introduisent de la flexibilité dans un système d'allocations individuelles tout en garantissant le respect du volume total prélevable à l'échelle de l'aquifère. Le premier est un bonus-malus : il repose sur l'imposition d'une pénalité financière aux irrigants qui dépassent leur allocation individuelle (malus), dont la recette est intégralement reversée sous forme de récompense aux irrigants qui ont réalisé des économies (bonus). Le second offre aux irrigants la possibilité de mutualiser leurs allocations en eau au sein d'un contrat qui les rend conjointement responsables du respect de l'allocation totale du groupe. Nous avons conduit une évaluation ex-ante de ces instruments au travers de deux méthodes, déployée sur cinq terrains d'étude : une approche par des ateliers de prospective avec des acteurs locaux, puis une approche expérimentale auprès de sujets standards et agriculteurs. Les deux instruments montrent une efficacité similaire en termes de respect des volumes autorisés, mais se distinguent par leur acceptabilité. Les résultats montrent que les choix d'irrigation ne sont pas uniquement guidés par la maximisation du profit économique et que la fonction d'utilité des irrigants intègre des paramètres non économiques, en particulier environnementaux, éthiques et sociaux. Ainsi, pour optimiser leur efficacité, les instruments de régulation des prélèvements doivent combiner incitations économiques et sociales, avec un poids respectif à adapter aux conditions économiques et au tissu social local.

Mots- clés

Eau souterraine, irrigation, incitations, recherche participative, économie expérimentale

Abstract

In order to prevent overexploitation of natural resources, decision makers have been implementing individual quota-based systems. Yet, in the particular case of groundwater abstraction for irrigation, farmers' demand is likely to vary relevantly from year to year, due to annual agricultural, environmental and economic conditions. In this thesis, we propose two instruments for regulating groundwater withdrawals for irrigation that ensure compliance with the total abstractable volume while introducing flexibility in the quota-based management. The first one relies on penalties applied to farmers who exceed their allocation, which are totally redistributed as financial compensations to farmers who have saved water. The second instrument gives farmers the opportunity of pooling water allocations within a contract that makes them jointly liable for the collective allocation compliance. We evaluate both instruments with stakeholders and farmers of five French sites, through a participatory approach followed by an experimental approach. Both instruments have similar efficiency in reaching compliance with authorized volumes, but differ from each other in their acceptability. Results show that farmers' irrigation choices are not only driven by profit maximization but that their utility function also depends upon non-economic parameters, such as environmental, social and ethic preferences. Thus, in order to strengthen their efficiency, instruments must include both economic and social incentives, respectively weighted as to be adapted to local economic conditions and social tissue.

Keywords

Groundwater, irrigation, incentives, participatory research, experimental economics