

Vers une gestion collective des eaux souterraines : le cas de la vallée de Copiapo au Chili

Jean-Daniel RINAUDO, Direction de l'Eau, de l'Environnement et des Ecotechnologies, BRGM, Montpellier. Jd.rinaudo@brgm.fr

Guillermo DONOSO HARRIS, Pontificia Universidad de Chile, Santiago. gdonosoh@uc.cl

Résumé

Cette communication porte sur les difficultés de mise en place d'une gestion collective des eaux souterraines, à travers une étude de cas dans la vallée de Copiapo (Chili) où le développement de l'activité minière et de l'agriculture irriguée tournée vers l'export ont conduit à surexploitation des eaux souterraines. La première partie de la communication présente le cadre réglementaire qui prévoit une gestion impliquant à la fois l'Etat et des associations d'usagers. Nous mettons en évidence les facteurs qui expliquent la situation de surexploitation. L'Etat a alloué un volume de droits de prélèvements quatre fois supérieur au renouvellement annuel moyen de la ressource. Ces droits ayant toutes les caractéristiques d'un bien privé ne peuvent pas être révoqués ou réduits par l'Etat. Le Code de l'Eau prévoit néanmoins que des associations des usagers soient formées et que celles-ci puissent décider de l'application de mesures temporaires de restriction des prélèvements, s'imposant à tous les usagers de la nappe. La deuxième partie de la communication présente le résultat d'une recherche action qui visait à accompagner une association d'usagers de la vallée de Copiapo dans l'élaboration d'une règle de restriction des prélèvements qui soit acceptable par la majorité des usagers. La méthode a consisté à mettre en débat plusieurs scénarios de règles de restriction des prélèvements auprès de différents groupes d'usagers. Les résultats mettent en évidence l'existence de conceptions antagonistes de la justice sociale par les usagers, qui sont explicitées interprétées par les usagers comme le produit de l'histoire récente du Chili. Les ateliers mettent également en évidence la nature des intérêts que chaque catégorie d'acteur cherche à protéger à court terme. La recherche d'un consensus autour d'une solution impose d'élargir la négociation à d'autres thématiques que la gestion de l'eau pour envisager des solutions gagnant-gagnant.

1 Introduction

A partir des années 1980, l'agriculture irriguée s'est largement développée grâce à l'exploitation des eaux souterraines, tant dans les pays développés qu'émergents (Giordano et Vilholth, 2007 ; Kuper et al, 2016). Dans ces derniers, l'accès libre à cette ressource a favorisé l'émergence d'une petite agriculture entrepreneuriale remplaçant l'agriculture de subsistance et permettant globalement le développement économique et social des zones rurales. Mais la surexploitation de cette ressource a fini par mettre en péril la durabilité de ces économies rurales, dont certaines sont menacées d'effondrement, voire disparaissent suite à une baisse de plusieurs dizaines de mètres des niveaux d'eau ou à l'intrusion d'eau salée dans les aquifères côtiers (Berahmani et al, 2012).

Cette menace préoccupe de plus en plus les Etats qui ont investi dans le développement agricole via des politiques de subvention et qui prennent conscience que cette surexploitation pourrait réduire à néant leurs investissements et transformer en foyers de pauvreté des zones qui ont été économiquement florissantes (Petit et al, 2017). Dans ce contexte, un certain nombre d'experts et d'institutions internationales préconisent la mise en place d'une politique de gestion fondée sur la création de droits individuels d'usage, définis sous forme de permis, concessions ou droits de propriété et dont la gestion serait assurée par des communautés d'usagers (Garrido et Llamas, 2009 ; Giordano and Villholth 2007; Madramootoo 2012). Il s'agirait d'un modèle reposant sur une hybridation d'un régime de propriété privée et de propriété collective, dans lequel l'Etat n'interviendrait que comme garant du bon fonctionnement des institutions communautaires (équité entre les usagers, respect des contraintes environnementales).

Ce modèle a été traduit en droit dans plusieurs pays (Espagne, Mexique, Chili, France) mais très peu d'articles ont étudié sa mise opérationnelle, à l'exception de rares cas comme la Mancha Orientale en Espagne (Rica et al, 2014 ; Lopez-Gunn, 2003). La littérature décrit très peu comment les règles de partage de la ressource ont été débattues, établies et mises en œuvre. Cet article s'intéresse à cette problématique, qu'il traite à travers un cas d'étude réalisé dans le nord du Chili.

L'article est organisé comme suit. Il présente d'abord les principaux éléments du cadre législatif et réglementaire relatif à la gestion de l'eau au Chili, mettant en évidence la nature hybride du régime de propriété de l'eau souterraine et la place conférée aux communautés d'usagers dans la gestion de cette ressource (section 2). Il présente ensuite la vallée de Copiapo au Nord du Chili, sa problématique de surexploitation des eaux souterraines et les communautés d'usagers de l'eau souterraine qui y sont mises en place (section 3). Nous présentons ensuite la méthodologie déployée pour concevoir et évaluer de manière participative des scénarios de règles de gestion visant à réduire les prélèvements à un niveau soutenable à long terme (section 4). Les résultats de cette évaluation sont ensuite présentés et mis en perspective (section 5).

2 Un régime hybride de propriété privée et collective

2.1 L'émergence d'une gestion collective de droits d'eau privés

La définition et l'utilisation de droits d'usage de l'eau fait partie des fondements de la gestion de l'eau au Chili (Vergara, 1992 ; Vergara et al, 2011; Donoso 2015 ; Montginoul et al, 2016). Depuis la période coloniale, ces droits ont essentiellement été utilisés pour répartir l'eau distribuée par des infrastructures hydrauliques collectives – canaux d'irrigation puis barrage. Initialement liés à la terre (code de l'eau de 1951), puis appropriés par l'Etat pendant la période socialiste (code de l'eau de 1967), les droits d'usage changent à nouveau de statut avec le code de l'eau de 1981. Reflétant l'idéologie ultralibérale des élites au pouvoir, cette loi confère aux droits d'eau le statut de propriété privée, statut qui est par ailleurs garanti par la Constitution (Bauer, 2004). L'eau elle-même reste publique, mais le titre donnant le droit de l'utiliser devient un bien privé, disposant ainsi du même niveau de garantie que la propriété foncière (un cadastre des droits d'eau est d'ailleurs établi et géré selon les mêmes principes que le foncier). Ces droits peuvent servir de garantie bancaire, ils peuvent être librement loués ou vendus sur des marchés dont l'efficacité a fait l'objet de nombreuses controverses scientifiques (Bauer, 2004 ; Donoso 2015).

A partir de la fin des années 1970, l'essentiel des ressources superficielles ayant été utilisées, les prélèvements en eau souterraine s'accroissent. Le législateur transpose alors aux eaux souterraines le système de droits utilisé pour les eaux superficielles (Riviera, 2015). L'Etat attribue gratuitement aux acteurs qui en font la demande des autorisations de prélèvements, spécifiées en débit (et non en volume) comme dans les systèmes hydrauliques. L'Etat ne peut refuser d'attribuer de nouveaux droits que s'il dispose des éléments permettant de prouver que le nouveau prélèvement envisagé risque d'impacter des usagers déjà établis. Cette démonstration est à la charge des usagers qui pourraient être impactés, et qui doivent saisir la justice pour défendre leur propriété. Les ressources étant mal connues, et les coûts de transaction élevés pour les usagers qui auraient voulu défendre leurs droits, l'Etat attribue trop de droits d'eau par rapport aux ressources disponibles. Il en résulte une situation de surexploitation, conduisant à une baisse du niveau des nappes dans de nombreuses régions (REF).

En 1983, la Direction Générale des Eaux (DGA) introduit la possibilité de restreindre les prélèvements associés aux droits d'usage existants dans des zones considérées comme surexploitées (résolution DGA 207-1983). Cette réglementation crée le concept de zones de restriction et d'interdiction, mais comme elle n'en précise pas les modalités d'application, elle reste sans effet. En 1996, une nouvelle résolution de la DGA impose que des communautés d'usagers (*Comunidades de Aguas Subterráneas* - CAS) soient mises en place dans toutes les zones considérées comme surexploitées. Ces zones ne seront effectivement définies qu'en 2005, après la réforme du code de l'eau qui en clarifie la définition. Cette réforme distingue notamment des zones d'interdiction et de restriction. Les premières sont décrétées par la DGA lorsque la connaissance scientifique est suffisante pour démontrer la surexploitation. Lorsque les éléments sont insuffisants pour conclure mais que le risque est avéré, la zone est classée en *zone de restriction*. La DGA ne peut dès lors attribuer que des droits d'usage provisoires, susceptibles d'être révoqués ultérieurement si la situation de surexploitation ou l'existence d'impact sur des tiers est confirmée.

La réforme de 2005 opérationnalise également la mise en œuvre de CAS. Elle renforce l'obligation de créer des CAS dans toutes les zones de restriction et d'interdiction. L'attribution de droits provisoires dans les zones de restriction est d'ailleurs conditionnée par leur mise en place, ce qui s'avèrera être

une incitation efficace pour leur création. La principale mission des CAS est de défendre les droits d'usage de ses membres. L'Etat lui confère donc le droit d'exercer une surveillance des prélèvements, impliquant la possibilité d'entrer dans les propriétés privées. La CAS est également chargée de définir des règles de gestion des prélèvements, incluant la possibilité d'appliquer des restrictions temporaires de l'exercice des droits. Ces règles doivent être élaborées par les membres et validées par deux tiers des votes en assemblée générale, le système de vote accordant à chaque individu un poids proportionnel aux droits qu'il détient. Enfin les CAS sont chargées de mettre en œuvre des actions permettant d'améliorer l'état de la ressource, notamment via la création d'infrastructure de recharge artificielle ou la modernisation des pratiques d'irrigation. La première CAS sera formellement établie en 2004 dans la vallée de Copiapo. Elle fera l'objet de l'étude de cas présentée dans la suite de cette communication.

Au cours des dernières années, le législateur a renforcé le rôle des CAS dans la gestion de l'eau. En 2014, un décret oblige les CAS à mettre place de règles de restriction des prélèvements si les droits d'un ou plusieurs usagers sont affectée par l'ensemble des prélèvements. En 2018, cette obligation est élargie, les CAS devant organiser la restriction des prélèvements dès lors que l'exploitation de la ressource est considérée comme « non durable ». La notion de durabilité n'a cependant pas encore été définie.

2.2 Un régime de propriété hybride

Le modèle de gestion Chilien a longtemps été décrit comme la forme la plus aboutie d'une gestion de l'eau reposant sur des droits d'usage privés et librement échangeables, garantissant théoriquement une utilisation efficiente des ressources en eau (Rosengrant et al , 1997). Les promoteurs de ce modèle libéral, influents au sein des institutions financières internationales, ont essentiellement promu le principe d'appropriation individuelle des droits d'eau, passant sous silence les dispositions en faveur de la gestion collective, dont l'existence est de fait restée théorique jusqu'au début des années 2000.

Une analyse plus précise des droits de propriété révèle une situation beaucoup plus contrastée. En appliquant à la situation actuelle le concept des faisceaux de droits défini par Schlager et Ostrom (1992), on montre que le régime de propriété qui émerge au Chili résulte d'une hybridation entre propriété privée et commune. Le droit d'accès comme le droit de prélèvement font clairement l'objet d'une appropriation privée, matérialisée par un titre de propriété garanti par l'état. L'exercice du droit de prélèvement peut cependant être modifié par la communauté d'usagers, qui ce qui restreint donc l'étendue de l'appropriation par l'usager. Le droit de gestion est principalement détenu par la communauté, chaque usager détenant un pouvoir de décision proportionnel au volume de droits qu'il détient. Le droit d'exclusion est également partagé entre les usagers et l'Etat ; l'Etat détient le droit d'autoriser l'entrée de nouveaux usagers, tandis que les usagers détiennent le droit de choisir leur successeur, dans le cas où ils cèdent, vendent ou louent leur droit (ni l'Etat, ni la communauté ne peuvent interférer dans cette décision). Enfin, le droit d'aliénation, défini comme le droit de vendre entièrement ou partiellement l'ensemble des droits, est détenu par l'usager. Le tableau ci-dessous résume la nature hybride de ce régime de propriété.

Elément du faisceau de droits	Appropriation
Droit d'accès	Privée. L'utilisateur ne peut pas perdre son droit d'accès. Une expropriation par l'Etat, justifiée par l'intérêt général, donne droit à indemnisation.
Droit de prélèvement	Privée comme le droit d'accès. Les règles de gestion collectives peuvent restreindre l'exercice de ce droit.
Droit de gestion	Collective et étatique. La Communauté d'Usager définit les règles de restriction des prélèvements. Mais une partie des règles étant définies par l'Etat (par exemple concernant le déplacement d'un point de captage)
Droit d'exclusion	Etatique et privé. La DGA détient seule le droit d'attribuer de nouveaux droits. La communauté peut éventuellement contester l'entrée de nouveaux usagers (démarche juridique)
Droit d'aliénation	Privé. L'utilisateur peut acheter ou vendre ses droits opérationnels et de gestion. Il choisit librement l'acquéreur ou le locataire (pas d'intervention de l'état ni de la communauté dans le marché de l'eau).

Tableau 1 : Analyse des faisceaux de droits d'usage de l'eau au Chili.

2.3 Les enjeux de la gestion commune

La mise en place de règles de gestion des prélèvements, impliquant des restrictions d'usage, se heurte plusieurs problèmes. Le premier est relatif à l'engagement des usagers dans l'élaboration de la règle. Jusqu'à la loi de 2018, la CAS ne pouvait légalement mettre en place une règle de restriction que si l'assemblée générale en prenait la décision (selon ses règles de gouvernance interne, le plus souvent 2/3 des voix). Il était évidemment difficile de réunir le quorum en faveur d'une telle décision qui impacte très fortement les intérêts économiques à court terme de la plupart des usagers. La Direction Générale des Eaux (DGA) pouvait théoriquement se substituer à la CAS à condition qu'un usager la saisisse, ce qui était également improbable, compte tenu des pressions voire des mesures de rétorsion que cet usager aurait subies dans cette éventualité. La DGA aurait par ailleurs été réticente à imposer une restriction des prélèvements que les usagers n'auraient pas souhaité. Cette difficulté est partiellement levée par la nouvelle loi de 2018 qui impose aux CAS de réguler les prélèvements dès lors que l'exploitation de la ressource est considérée comme non durable.

Le second problème des CAS est lié à l'exercice des missions de contrôle et de sanction que les textes leur confient. La difficulté est d'abord d'ordre technique, puisqu'il revient au CAS d'organiser le suivi des prélèvements (installation de compteurs, vérification de leur fonctionnement, relevé des index, création d'un système d'information). Le second est lié à l'application de sanctions. Les textes confèrent des pouvoirs importants aux associations, leur permettant d'infliger des amendes aux usagers qui ne respectent pas leurs droits d'eau et même de saisir leurs droits et de les vendre aux enchères en cas de récidive. L'exercice de ces prérogatives est cependant très difficile dans le cas des eaux souterraines, où, à la différence des systèmes irrigués par canaux, le non-respect de la règle de prélèvement par un usager ne génère pas de préjudice visible et immédiat pour les autres usagers. Ces difficultés sont illustrées dans la section suivante à travers une étude de cas conduite dans la vallée de Copiapo au Nord du Chili.

3 Le cas de la vallée de Copiapo

3.1 Copiapo, un boom économique en plein désert

La vallée de Copiapo se situe dans la région d'Atacama, dans la zone semi-désertique au Nord du Chili (Erreur : source de la référence non trouvée). Le bassin versant couvre une superficie de 18 000 km², des sommets des Andes à plus de 6000 m d'altitude jusqu'à la mer. La ressource en eau souterraine est stockée dans les alluvions quaternaires du fond de la vallée, sur une largeur variant entre 1 et 5 kilomètres. La nappe, compartimentée en six secteurs de profondeur variable (Erreur : source de la référence non trouvée), est presque exclusivement alimentée par la fonte de neige et de glace dans les Andes, les précipitations étant de l'ordre de 20 mm par an dans la vallée de Copiapo.

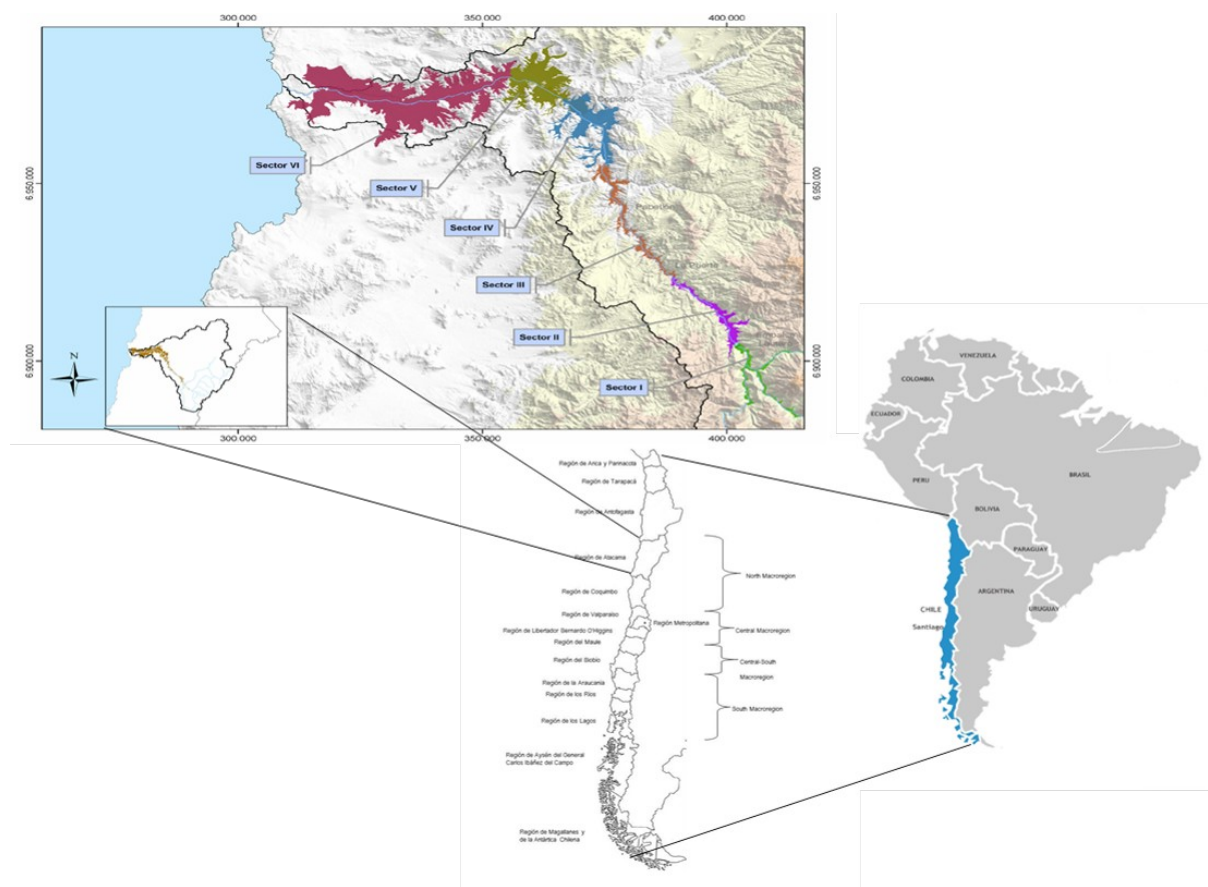


Figure 1 : Localisation de la vallée de Copiapo et découpage de la nappe alluviale en secteurs de gestion.

La vallée connaît un développement économique important dès la fin du 18^{ème} siècle grâce à l'activité minière (or, argent, cuivre et fer) qui est très consommatrice d'eau. L'agriculture s'y développe également, grâce à la construction du barrage de Lautaro dans les années 1930 qui permet de réguler l'approvisionnement en eau d'un réseau de canaux gravitaires préexistants. A partir des années 1980, une agriculture intensive spécialisée dans la production de fruits et tournée vers l'export se développe grâce à l'eau souterraine. L'essentiel de la production provient d'entreprises gérées par des grands propriétaires terriens de la vallée ou détenues par des capitaux étrangers. Une agriculture paysanne, issue de la réforme agraire entreprise à la fin des années 1960, coexiste avec cette agriculture capitaliste. Elle se spécialise dans la production maraîchère destinée au marché intérieur. La culture de l'olivier se développe également en aval où l'eau souterraine est de moindre qualité,

également sur de grandes exploitations. Les surfaces irriguées passent de 3 400 ha dans les années 1960 à 7 000 ha dans les années 1990 et 16 000 ha en 2015, ce qui se traduit par une hausse des prélèvements en eau souterraines qui passe de 10 millions de m³ par an dans les années 1960 à plus de 140 millions de m³ par an au milieu des années 1990.

En parallèle, l'activité minière s'intensifie avec l'arrivée de grands investisseurs étrangers qui ouvrent des mines de cuivre de très grande capacité dans les années 1990. Cette nouvelle activité est très consommatrice en eau (transformation et transport du minerai). La croissance de l'activité économique et de la population qui accompagne le boom minier conduit aussi à une hausse des besoins en eau potable, également satisfaits à partir de la nappe. La gestion de l'eau potable est assurée par une entreprise privée (régime de concession) qui obtient également des droits d'eau et en achète en partie. A la fin des années 2000, l'usage agricole représente 75% des prélèvements en eau souterraine, l'activité minière et industrielle 15% et l'eau potable 10%.

3.2 *L'effondrement de la nappe*

Dès les années 1980, plusieurs études indiquent que la recharge moyenne de cette ne permet plus de compenser les prélèvements. Ceci est confirmé par la chute rapide des niveaux piézométriques qui se manifeste à partir des années 1990 (les années 1980 ayant bénéficié de précipitations importantes). Le déficit s'accumule dans les secteurs 3 et 4 où le niveau de la nappe passe de 10 à 150 mètres en dessous du niveau du sol entre 1998 et 2015. Les secteurs 5 et 6 sont impactés quelques années plus tard. Globalement, le bilan hydrologique de la nappe est déficitaire (Figure 2 :ne, 22 ans, le volume perdu est de l'ordre de 830 millions de m³, correspondant à six ans et demi de recharge moyenne).

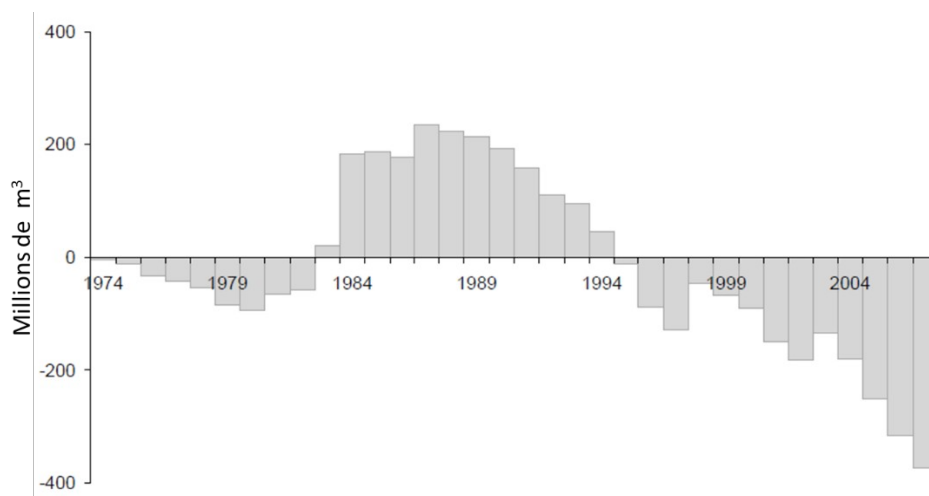


Figure 2 : Evolution cumulée du volume total stocké dans l'aquifère de Copiapo entre 1974 et 2007. Source : Hidromas, 2013.

Confrontées à la baisse de productivité et au risque de tarissement de leurs forages dans les secteurs 3 et 4, les entreprises minières achètent alors des droits d'eau souterraine aux agriculteurs du secteur 5. Cette appropriation (pourtant légale) génère une hostilité générale du monde agricole vis-à-vis du secteur minier. Les actionnaires des grandes entreprises concernées décident alors d'investir dans des usines de dessalement qui sont opérationnelles en 2013 et 2014. L'eau dessalée est transportée sur 80 km et 1000 m de dénivelé à un coût de 4\$/m³. La réduction des prélèvements qui en résulte ne suffit pas à enrayer la baisse des niveaux piézométriques, reflétant le fait que l'agriculture est le principal préleveur.

A partir de la fin des années 2000, l'entreprise concessionnaire du service d'eau potable se trouve dans la même situation. La plupart de ses puits dans le secteur 4 sont secs ou ne produisent que de faibles débits du fait de la chute du niveau piézométrique. L'entreprise obtient la permission de relocaliser ses forages dans le secteur 5, ce qui accélère la baisse des niveaux piézométriques (2 à 6 m par an). Ceci l'amène à demander à l'Etat d'investir dans la construction d'une usine de dessalement d'eau de mer afin de pouvoir substituer cette nouvelle ressource à l'eau souterraine. Cette solution ne sera pas sans créer des problèmes sociaux, car elle conduirait à doubler le montant de la facture d'eau des ménages. Cette usine reste au stade de projet à ce jour.

Les usagers agricoles sont de plus en plus nombreux à voir leurs forages s'assécher. Ils les relocalisent ou les approfondissent; mais les couches profondes de l'aquifère, parfois captives, sont beaucoup moins réalimentées et certains agriculteurs ayant foré à 110 m voient leur nouveau puit s'assécher en moins de 2 ans. On assiste aux premières faillites d'entreprises agricoles dont la sortie du secteur n'est qu'en partie amortie par la vente des droits d'eau, car le marché de l'eau s'effondre depuis 2008. Rien, à ce jour, ne permet d'espérer une inversion de la tendance puisque les droits d'eau des puits qui cessent de fonctionner sont transférés vers d'autres usagers (marché), ce qui ne permet pas de réduire le prélèvement.

3.3 Les principales causes de la surexploitation

Une analyse historique présentée dans un précédent article (Rinaudo et Donoso, 2018) a permis de mettre en évidence 6 facteurs expliquant la crise de surexploitation :

(1) Le premier facteur est lié à la connaissance des eaux souterraines et la compréhension de leur dynamique. Les nombreuses études qui ont été réalisées entre les années 1980 et 1990 ont globalement surestimé le volume d'eau souterraine pouvant être exploités de manière durable, ce qui a conduit à une allocation excessive de droits d'eau par l'Etat dans les années 1990.

(2) Lorsque les services de l'Etat ont pris conscience de l'état réel de la nappe et de la situation de sur-allocation qu'ils avaient engendré, ils ont été soumis à des pressions politiques, exercées tant localement que via l'administration centrale, pour continuer d'autoriser de nouveaux entrants, notamment dans le secteur minier qui représente un pilier de l'économie chilienne.

(3) Certains usagers vont également utiliser la complexité du cadre juridique pour régulariser des prélèvements non déclarés mais présentés comme anciens, cette procédure étant souvent utilisée de manière frauduleuse.

(4) Le développement du marché de l'eau va également accentuer la crise de surexploitation, en facilitant le transfert de droits d'eau agricole, utilisés de manière saisonnière, vers des usages intensifs des droits dans le secteur minier ou celui de l'alimentation en eau potable.

(5) La police de l'eau est notoirement faible, l'Etat effectuant très peu de contrôle des débits prélevés. Les associations d'usager mises en place à partir du début des années 2000 n'ont véritablement commencé à surveiller les débits prélevés qu'à partir de 2008, et ce uniquement dans la partie aval du bassin.

(6) Enfin, la surexploitation a été accentuée par le manque de cohérence entre les politiques publiques. L'Etat a en effet encouragé via des programmes de subvention, la modernisation des systèmes de canaux d'irrigation, en vue de réduire les pertes et d'augmenter l'efficacité de l'usage de l'eau. Ce faisant, la recharge de la nappe, qui était réalimentée à plus de 50% par les pertes des canaux, a fortement baissé, ce qui a accentué la crise.

3.4 La mise en place de la communauté d'usagers

Au milieu des années 2000, la DGA a enfin réussi à stabiliser le nombre de droits dont le débit total s'établit à près de 20 m³/s. Les deux enjeux principaux consistent, d'une part, à résorber l'excès de droits et d'autre part, à assurer que les usagers respectent les droits.

La DGA impose alors aux usagers de former une CAS pour prendre en charge ces deux enjeux. Cette communauté aurait théoriquement dû être établie dès le classement du bassin en zone d'interdiction en 1993, mais les usagers s'y étaient alors refusés, estimant qu'ils n'avaient aucun intérêt à prendre en charge la résolution des problèmes dont ils considèrent l'Etat comme responsable. En 2001, la DGA conditionne l'attribution de nouveaux droits d'eau provisoires dans les secteurs 5 et 6 à la création d'une CAS. C'est donc la perspective d'obtenir de nouveaux droits (dans une situation déjà critique) qui motivera un groupe d'agriculteurs (petits et grands) à initier les démarches pour la création de cette première association d'usagers d'eau souterraine. Dénommée CASUB, la communauté ne sera véritablement fonctionnelle (conseil d'administration mis en place, directeur recruté, redevance établie) qu'en 2008. Dans les autres secteurs en amont, les communautés n'ont été établies qu'en 2015. La CASUB regroupe tous les propriétaires de droits d'eau souterraine de l'aval du bassin (secteurs 5 et 6) soit 204 agriculteurs, 4 entreprises minières et l'entreprise privée qui assure la production et la distribution d'eau potable.

Les statuts de la CASUB lui attribuent quatre grandes missions : une mission générale de défense des intérêts des usagers ; une mission de police de l'eau ; une mission de protection de la ressource ; et une mission de régulation des usages, visant à rétablir une exploitation durable de la nappe.

La première réalisation de la CASUB a été l'établissement d'un registre détaillé des droits d'eau, associé à un système d'information géographique (SIG) permettant d'associer les droits aux forages. Ces informations sont mises à jour et le contenu du SIG est progressivement développé. La seconde a consisté à équiper les forages de compteurs à télérelève permettant de mesurer en temps réel les débits et volumes utilisés ainsi que des niveaux statiques et dynamiques de la nappe. Chaque forage est connecté par le réseau de téléphonie mobile à un serveur informatique géré par la CASUB (Figure 3). Le système est théoriquement conçu pour permettre à la CASUB de couper à distance l'alimentation électrique de la pompe en cas de non-respect par l'utilisateur de son débit autorisé. Cette fonctionnalité n'a pas été utilisée à ce jour, mais le simple fait qu'elle existe contribue à faire évoluer les mentalités. Le personnel de la CASUB est par ailleurs autorisé à entrer sans préavis dans les propriétés pour vérifier le bon fonctionnement du dispositif (mission de police de l'eau).

La CASUB développe également une offre de services à ses usagers : appui dans leurs démarches administratives auprès de la DGA ; appui dans la recherche de financements publics pour approfondir les puits ou moderniser les systèmes d'irrigation. Plus ponctuellement, l'administrateur de la CASUB qui a développé une bonne connaissance technique de la nappe conseille les usagers pour résoudre les problèmes d'exploitation des ouvrages. La gamme des services rendus a été récemment élargie. Un site internet permet aux usagers d'accéder à une information sur les niveaux de la nappe et leurs tendances d'évolution. Il est prévu d'y intégrer des outils d'aide au pilotage de l'irrigation, comme des photographies aériennes à haute résolution qui permettraient à chaque agriculteur d'identifier des zones de mauvais fonctionnement de son système d'irrigation. Enfin, la CASUB développe une plateforme internet qui permettra aux usagers d'échanger temporairement leurs droits d'eau (*bolsa de agua*), répondant ainsi à une demande de ses membres. L'ensemble de ces activités d'appui aux usagers contribue à construire un sentiment d'appartenance à la communauté. Le financement de la

CASUB est assuré par une redevance dont le montant est proportionnel au débit des droits d'eau détenus par chaque usager. Les recettes de cette redevance sont complétées par des fonds publics que l'association parvient à lever sur la base de projets.

Les entretiens que nous avons réalisés en 2016 suggèrent qu'un petit groupe de membres a pleinement pris conscience de l'intérêt de la communauté et y contribue activement. Il reste une majorité à convaincre (85% des membres ne participent pas à l'assemblée générale), principalement composée de petits agriculteurs qui se sentent exclus (puisque les décisions sont prises par vote proportionnel aux débits des droits d'eau) mais aussi de grands agriculteurs qui poursuivent une stratégie de « cavalier solitaire ».

Après près de dix années d'existence, la CASUB est suffisamment structurée pour aborder l'épineuse question de la réduction des prélèvements, principale raison de sa création. La suite de cette communication présente un premier travail engagé en ce sens.

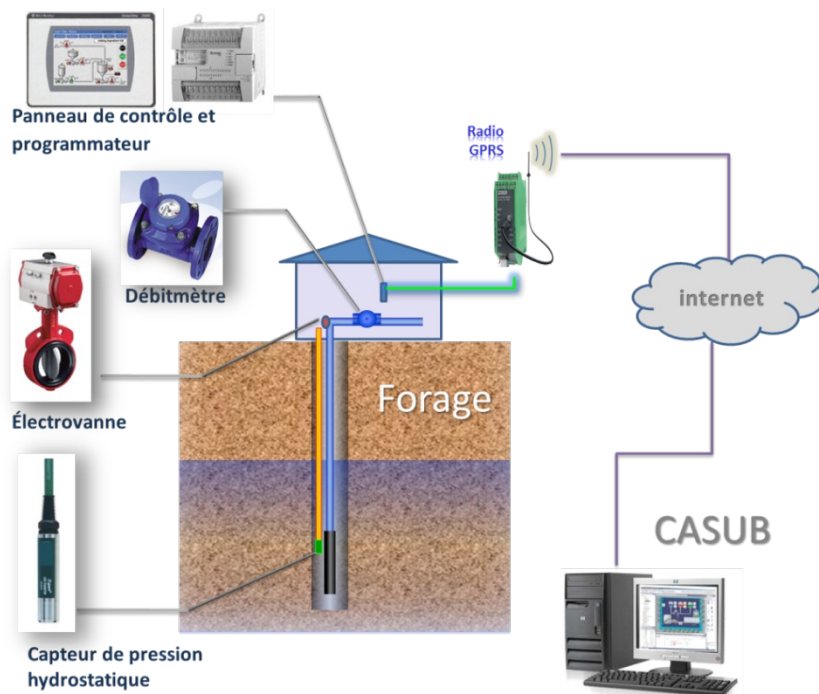


Figure 3 : Dispositif de suivi des niveaux piézométriques et des prélèvements installé dans 60% des exploitations agricoles de la CASUB

4 Conception et évaluation de règles de gestion commune : méthode

4.1 Une approche participative

Les entretiens réalisés au cours de la première phase de cette recherche (Rinaudo et Donoso, 2018) ont montré que les usagers sont généralement conscients de la crise de surexploitation, dont ils constatent les effets dans leurs propres puits et forages. Bien que la plupart des usagers semblent s'accorder sur la nécessité de réduire les prélèvements, on constate qu'ils ne parviennent pas à formuler des propositions concernant la manière dont cette réduction doit être mise en œuvre. Le personnel permanent de la CASUB, qui ne dispose que de compétences techniques, administratives

et juridiques, est mal équipé pour porter une réflexion collective sur un sujet qui est rendu très sensible par l'importance des intérêts économiques en jeu et les conflits de valeurs qu'il risque de mettre en évidence. Ceci a conduit le conseil d'administration de la CASUB à solliciter le soutien des auteurs, dont l'intervention avait plus de chances d'être perçue comme indépendante.

La recherche opérationnelle présentée dans cet article visait donc à initier un dialogue entre les usagers en vue de faire émerger les principes devant être pris en compte lors de l'établissement d'une règle de restriction des prélèvements. La méthode mise en œuvre repose sur l'utilisation de scénarios décrivant des règles de gestion contrastées. Ces scénarios sont considérés comme des supports de discussion, les hypothèses qui les constituent pouvant être critiquées, modifiées et recombinaées au cours des discussions avec les usagers. Cette discussion vise à faire émerger (i) des principes sur lesquels fonder la future règle de restriction et éventuellement (ii) des propositions de règles opérationnelles, construites par hybridation des scénarios proposés, ou en opposition à ces propositions initiales. Notre hypothèse, testée dans de nombreuses actions antérieures (Rinaudo et al, 2012 ; Rinaudo et al, 2013 ; Figureau et al, 2015 ; Faysse et al, 2017) est que l'utilisation de scénarios préparés par des acteurs extérieurs au territoire, n'ayant aucun intérêt à défendre localement, peut permettre d'amorcer un dialogue que la CASUB ne parvient pas à établir. En n'impliquant qu'un nombre limité d'usagers dans cette approche participative, l'intention est uniquement d'aider la communauté à structurer le débat qu'elle doit ensuite conduire en impliquant l'ensemble des usagers, dans le respect de ses règles de gouvernance interne.

Concrètement, la réflexion a été conduite en trois temps. Le débat a d'abord porté sur les conséquences environnementales, économiques et sociales qu'entraînerait l'absence d'action de la part de la communauté. L'objectif était vérifier l'existence d'un consensus sur la nécessité d'agir et d'identifier des conditions préalables à la mise en place de règles de gestion des prélèvements. La réflexion a ensuite porté sur la nature des règles pouvant être mises en place. Cette réflexion s'est appuyée sur trois scénarios, conçus par l'équipe de projet, en interaction avec le directeur de la communauté. Dans un troisième temps, la réflexion a porté sur les manières dont les grands principes définis lors de l'étape précédente pouvaient être mise en œuvre de manière opérationnelle (phasage, outils, indicateurs et mode de calcul, mécanismes de compensation, etc.).

Plusieurs groupes d'usagers ont été impliqués dans cette réflexion. Le premier regroupait les membres du conseil d'administration de la communauté, qui représentent la diversité des usagers agricoles, l'entreprise d'eau potable régionale et les entreprises minières. Le second était formé d'agriculteurs représentatifs de la diversité des exploitations agricoles. Etaient représentés dans ce groupe un très petit exploitant (3-4 ha de maraichage), plusieurs entrepreneurs de taille moyenne (10-15 ha de maraichage ou 30-40 ha de raisin de table), plusieurs grandes exploitations appartenant à des familles issues de la région (plusieurs centaines d'hectares de vergers), et un représentant d'une entreprise multinationale. Un troisième groupe a été formé avec une dizaine de petits agriculteurs, dont les exploitations sont issues de la réforme agraire et qui détiennent peu de droits d'eau, le plus souvent provisoires. Ce groupe a été mis en place après avoir constaté les difficultés éprouvées par les représentants des petits agriculteurs pour exprimer leur point de vue dans les deux premiers groupes. Enfin, une controverse a été organisée entre un petit et un grand agriculteur. Les débats ont été systématiquement enregistrés et retranscrits afin de permettre une analyse détaillée des positions exprimées et des arguments mobilisés. Au total, 17 usagers ont participé à la série d'ateliers.

4.2 Scénarios de règles mis en débat

Trois scénarios de règles ont été présentés aux usagers, chacun proposant des modalités de répartition de l'effort de réduction des prélèvements. La présentation des scénarios est illustrée par une application concrète des règles à des cas fictifs, afin d'en faciliter la compréhension. Dans ces exemples, le calcul met en évidence l'impact de la règle considérée sur le débit autorisé, le volume total et, pour les agriculteurs, la superficie qui peut être irriguée.

Le premier scénario consiste à appliquer un **coefficient réducteur uniforme** à tous les droits d'eau, ce coefficient s'appliquant au débit maximum autorisé. La réduction s'applique à tous les droits d'eau, qu'ils soient effectivement utilisés ou non¹ et à tous les secteurs économiques (agriculture, eau potable, entreprises minières). Le coefficient réducteur est mis en œuvre de manière progressive jusqu'à atteindre, en 10 ans, une valeur permettant de restaurer l'équilibre entre recharge et prélèvements. Cette mise en œuvre progressive vise à permettre l'ajustement des exploitations, soit en modifiant la production, soit en acquérant des droits d'eau sur le marché. Le coefficient de réduction final (de l'ordre de 50%) est directement appliqué aux droits qui ne sont pas utilisés actuellement (identification possible grâce aux données issues du suivi télémétrique des consommations). Ce double principe est illustré dans la Figure 4.

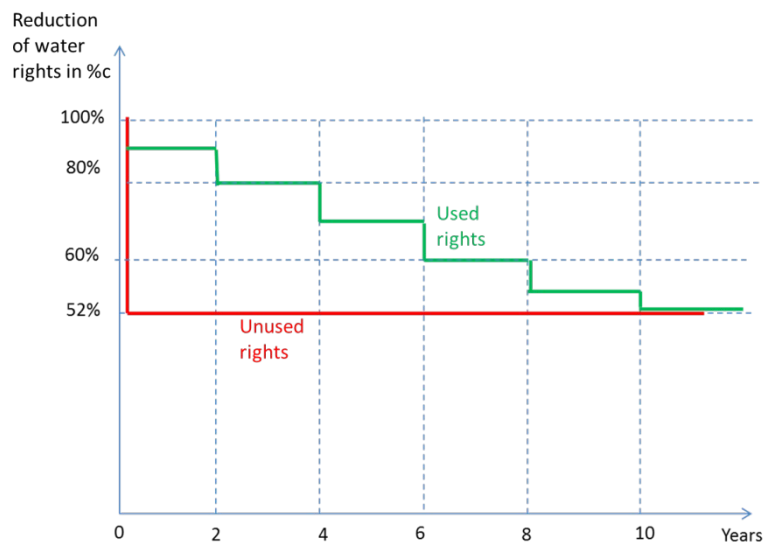


Figure 4 : Mise en œuvre de la règle de réduction uniforme des prélèvements

Le second scénario suppose une **différenciation du coefficient réducteur** selon que le droit d'eau est actuellement utilisé ou non. A partir des données disponibles, nous avons posé comme hypothèse que cette réduction soit de l'ordre de 35% pour les droits utilisés et 70% pour les non utilisés. Ce scénario pénalise donc moins les droits engagés dans des activités productives que ceux qui sont conservés comme élément de patrimoine. Comme dans le premier scénario, les coefficients réducteurs s'appliquent au débit de pompage spécifié dans le droit d'eau. Ils peuvent également être introduits progressivement.

Le troisième scénario propose d'introduire une **gestion volumétrique des prélèvements**. Le principe consiste à ne pas réduire le débit prélèvement autorisé, mais de plafonner le volume qui peut être

¹ De nombreux usagers détiennent beaucoup plus de droits d'eau que ce qu'ils utilisent effectivement.

prélevé par unité de débit. Le scénario présenté aux acteurs proposait de plafonner la consommation à 12 000 m³ pour chaque litre par seconde de débit détenu. Cette valeur permet théoriquement d'irriguer un hectare de raisins de table (culture principale) avec des pratiques d'irrigation techniquement optimisées (goutte à goutte bien réglé). Ce volume représente 70 à 80% de la moyenne consommée actuellement par les agriculteurs, il est donc considéré par les experts comme un objectif atteignable. En revanche, ce scénario représente une réduction de prélèvement de l'ordre de 60% pour l'entreprise d'eau potable, car elle exploite ses droits d'eau 24 heures sur 24, à la différence des agriculteurs dont l'usage est saisonnier. Une telle réduction représente un objectif est à première vue inatteignable pour l'entreprise d'eau potable. Cependant, si celle-ci accepte de réinfiltrer dans la nappe les eaux usées traitées qu'elle vend actuellement aux mines, elle obtiendrait une autorisation de prélèvement supplémentaire, qui, combinée à un effort de recherche de fuite dans ses réseaux, devrait lui permettre de répondre aux besoins de la population. Les entreprises minières, pour qui l'eau souterraine ne représente qu'une ressource de secours (elles sont par ailleurs alimentées par des usines de dessalement) ne seraient pas affectées. Le scénario propose également que cette nouvelle règle de gestion soit mise en œuvre de manière progressive (5 ans) de manière à permettre aux usagers de moderniser leurs pratiques d'irrigation, et si besoin d'ajuster la structure de l'exploitation en modifiant les surfaces ou en achetant des droits d'eau.

5 Résultats

L'analyse des ateliers est en cours, les premiers résultats en sont présentés ci-dessous.

5.1 Un consensus pour réduire les prélèvements

A l'issue de la première partie de la discussion, il y a consensus sur la nécessité de réduire les prélèvements à court terme. L'urgence de la situation est clairement perçue ainsi que l'importance des conséquences économiques et sociales associées à un scénario de non action. La plupart des usagers consultés se déclarent prêts à apporter leur soutien à la mise en œuvre immédiate d'une règle de restriction s'appliquant à tous les usagers. Quelques voix discordantes s'y opposent cependant et proposent d'intensifier le lobbying auprès de l'Etat pour mobiliser des ressources de substitution, dont la construction d'une usine de dessalement pour l'eau potable et la mise en place d'une infrastructure de recharge artificielle de la nappe, utilisable les années où les précipitations hivernales sont abondantes. Pour ces usagers, accepter de mettre en place une règle de restriction revient à renoncer à ces ressources de substitutions, ce qu'ils n'acceptent pas. Des comportements stratégiques similaires ont été décrits dans des contextes aussi différents que le Maroc (Berahmani et al, 2012) ou la France (Dupeuty et al, à paraître ; Rinaudo, à paraître).

Les usagers s'accordent également sur le fait qu'il est préférable d'établir eux même leur règle de gestion, avant que l'Etat ne se substitue à la Communauté et impose d'office les siennes. Ceci-dit, ils doutent de la capacité des usagers à se mobiliser, notamment parce que la Communauté n'a pas conduit suffisamment d'actions d'information et de sensibilisation, mais aussi parce que le sentiment d'appartenance à une communauté d'intérêt est encore peu marqué. Pour certain, il s'agit de conditions nécessaires à l'acceptation des règles, qui ne sont donc pas réunies.

Parmi les autres conditions, ils citent la nécessité d'impliquer dans la démarche les autres Communautés de la vallée, situées plus en amont, afin qu'elles contribuent à l'effort de réduction

des prélèvements. Ne pas le faire risquerait de donner naissance à un sentiment d'injustice au sein de leur communauté (la CASUB) avec un risque de non adhésion au projet ou de non-respect des règles une fois que celles-ci auront été votées. En même temps, ils admettent qu'il faudra du temps aux usagers de ces communautés pour effectuer le chemin par la leur en dix années, et que l'urgence de la situation exige d'agir vite.

Les usagers insistent également sur la nécessité de renforcer les contrôles relatifs aux prélèvements réels. L'existence du système de télémétrie n'est pas jugé suffisante pour s'assurer qu'aucun usager prélève plus que son droit. Même si l'information est disponible auprès des employés de la CASUB, ils s'interrogent sur le fait que ceux-ci appliquent les sanctions prévues, leur emploi pouvant être menacé, surtout si la fraude concerne un usager disposant de nombreux droits d'eau (donc de capacité d'influence via le poids de vote). Cette crainte est parfaitement fondée, les auteurs ayant constaté que la CASUB n'analyse pas les données issues de la télémétrie.

5.2 *Evaluation des scénarios de règles proposés*

a. **Application d'un coefficient uniforme**

Pour les participants aux ateliers, le principal avantage de cette règle de gestion est sa faisabilité. Elle est facilement compréhensible par les usagers. Sa mise en œuvre nécessite peu de données. Il est facile d'en vérifier l'application, via les systèmes de mesures de débit déjà installés. Enfin, elle semble très proche de ce que proposent les textes juridiques, ce qui devrait à la fois faciliter son acceptation par l'administration mais aussi réduire le risque de contentieux avec des usagers qui s'y opposeraient.

Au-delà de ce constat partagé, cette règle suscite deux réactions opposées quant à son caractère équitable. Ses détracteurs (majoritaires) considèrent qu'elle impactera beaucoup plus sévèrement ceux qui utilisent entièrement leur droits d'eau que ceux qui ne les exploitent que partiellement. En effet, ces derniers pourront réactiver la réserve de droits non utilisés qu'ils détiennent et continuer à utiliser autant d'eau qu'avant. L'effort ne sera donc pas réparti équitablement entre les usagers, ce qui est considéré comme injuste. A cette critique, les défenseurs de ce scénario répondent que les droits d'eau qu'ils détiennent sont des biens comme un autre, qu'ils font partie de leur patrimoine au même titre que le foncier, et qu'il est donc légitime d'appliquer la même règle à tous les droits, qu'ils soient ou non utilisés. En outre, certains expliquent avoir acheté plus de droits qu'ils n'en avaient besoin pour sécuriser leur activité, au cas où une restriction serait mise en place.

Les usagers craignent aussi que ce scénario réactive le marché de l'eau et qu'il puisse avoir un effet régressif. Les usagers qui ne détiennent pas assez de droits seront contraints de réduire leur production ou d'acheter des droits auprès de ceux qui en détiennent plus que ce qu'ils n'utilisent. Les usagers dont les puits sont déjà à sec trouveront des acquéreurs pour leurs droits qui n'étaient plus mis en valeur (« droits de papier »). Globalement, la quantité d'eau totale d'eau utilisée baissera peu mais le mécanisme de restriction contribuera à transférer de la richesse de ceux qui mettent en valeur les droits vers ceux qui les détiennent comme élément de patrimoine.

b. **Coefficient différencié**

Ce scénario a suscité de vifs débats qui ont mis en évidence des conceptions radicalement différentes de la propriété de l'eau. Pour ceux qui défendent ce scénario, les droits non utilisés ne devraient pas être conservés. Ils argumentent que l'eau appartient à la nation et que les droits d'eau détenus ont

été attribués gratuitement, ce qui rend parfaitement légitime l'application d'un coefficient de réduction plus élevé. Les opposants s'appuient sur la loi qui garantit les droits d'eau au même titre que le foncier. Ils considèrent que le scénario conduirait à une confiscation de leur patrimoine. Les plus anciens font référence à la réforme agraire de 1967-70 au cours de laquelle leurs familles avaient été spoliées. Il est donc évident que ce scénario est de nature à scinder la communauté et générer des tensions incompatibles avec l'objectif recherché.

De plus, les usagers se sont interrogés sur la faisabilité du scénario, notamment sur la manière dont définir et quantifier les droits non utilisés. Plusieurs situations de non usage peuvent être distinguées : la première est celle dans laquelle un usager détient un droit d'eau obtenu attaché affecté à un ouvrage qui ne fonctionne plus (par exemple un ancien puits à sec). Il s'agit là clairement d'un droit non utilisé, facilement identifiable. La seconde situation est celle dans laquelle le débit total des droits d'eau attachés à un puits ou forage dépasse la capacité de pompage de celui-ci. Les droits non utilisés peuvent facilement être évalués sur la base des données administratives. La troisième situation, plus complexe, est celle dans laquelle les droits attachés à un puits correspondent à la capacité de prélèvement de celui-ci, mais où l'usage réel est inférieur. Techniquement, la quantification de l'usage réel est rendue possible par le système de télémétrie, mais il n'en reste pas moins difficile de quantifier le non usage, compte tenu de la variabilité interannuelle de la consommation d'eau, liée aux fluctuations climatiques et à la conduite de la production. Pour ces deux raisons, le principe de la différenciation n'a pas été retenu à l'issue des discussions.

c. Passage à la gestion volumétrique

Les principes constitutifs du scénario « gestion volumétrique » sont globalement validés par les usagers agricoles, ce scénario permettant de concilier l'objectif de gestion durable de la ressource et la production économique. Il offre en outre une solution pour l'alimentation en eau potable, en proposant de réintégrer les eaux usées traitées dans la ressource gérée collectivement (via leur ré-infiltration dans la nappe. Les discussions ont plutôt porté sur la manière dont le quota en volume pourrait être fixé. Les participants se sont interrogés sur la possibilité de différencier ce volume selon le type de sol ou selon les secteurs géographiques dont le climat peut varier. La mise en œuvre de cette règle suppose aussi que les usagers soient

d. Evaluation globale des scénarios

Un vote réalisé à la fin de la discussion des différents scénarios fait ressortir une nette préférence pour le scénario consistant à passer en gestion volumétrique (Figure 5). La portée de ce résultat reste très limitée compte tenu du très faible effectif ayant participé.

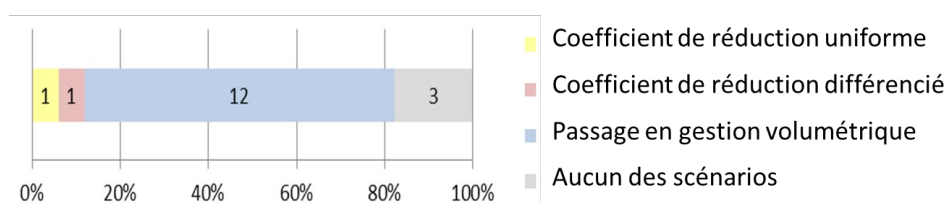


Figure 5 : résultat d'un vote portant sur le scénario préféré par les usagers ayant participé à la démarche.

5.3 Autres principes émergent des débats

a. **Protection des petits agriculteurs**

La question de la protection des petits agriculteurs a sous tendu les débats tout au long du processus. Il y a globalement consensus sur la nécessité de mettre en place un mécanisme permettant d'atténuer l'impact des restrictions sur les petites exploitations (même si quelques voix s'y opposent, considérant qu'il s'agit d'une politique sociale relevant de l'Etat et pas de la communauté). Bien que les petits usagers ne représentent qu'une fraction négligeable des voix au sein de la Communauté (les votes étant proportionnels aux droits détenus), leur accord est perçu comme indispensable pour éviter qu'un conflit social majeur n'apparaisse.

Plusieurs approches ont été considérées. La première consiste à ne pas appliquer la réduction aux usagers détenant très peu de droits d'eau (moins de 3 litres par seconde). Les usagers s'interrogent sur la manière dont fixer ce seuil et craignent que cette décision soit conflictuelle, chaque usager pouvant se considérer « petit » par rapport à d'autres. La seconde approche consisterait à ce que les usagers qui disposent d'un excès de droits les mettent temporairement à la disposition de la Communauté, qui les réallouerait ensuite aux petits usagers, pour leur permettre d'ajuster leur organisation. Cette mutualisation a relativement peu de chances de voir le jour car elle représente un manque à gagner pour ceux qui prêteraient gratuitement à la CASUB des droits pouvant être loués sur le marché de l'eau. La troisième approche, qui a émergé au cours des débats consisterait à mettre en place un coefficient de réduction croissant par palier (Figure 6, gauche). Ce mécanisme atténuerait l'impact de la réduction des prélèvements sur les petites exploitations tout respectant le principe d'égalité de traitement des usagers (puisque même les grands agriculteurs bénéficient de la mesure sur les premières unités de leur droit d'eau). Ce mécanisme peut également être décliné sous forme d'une allocation volumétrique décroissante (Figure 6 partie droite).

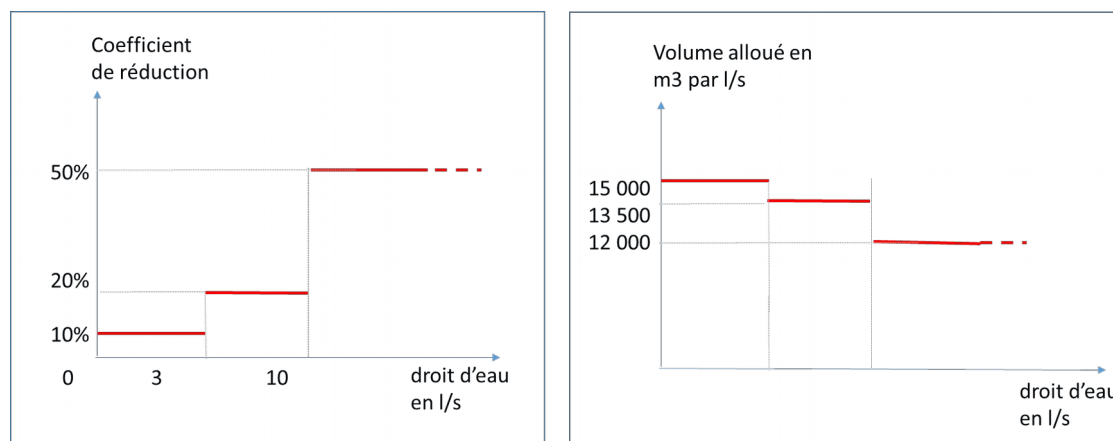


Figure 6 : Utilisation d'un coefficient croissant par palier ou d'une allocation décroissante par palier

e. **Différenciation du mécanisme par secteur**

La baisse des niveaux de la nappe n'est pas homogène sur le territoire. Très marquée dans le secteur 5, elle est moins inquiétante dans le secteur 6 en aval de la vallée. Cela conduit les usagers de l'aval à souhaiter que la règle de restriction des prélèvements soit différenciée entre les secteurs hydrogéologiques de la CASUB. Il leur semble inopportun de réduire très significativement les prélèvements du secteur aval alors que les niveaux ne baissent que très lentement. Ce principe est globalement accepté par l'ensemble des usagers, qui ne perçoivent probablement pas bien le

fonctionnement du réservoir souterrain. Il sera probablement intégré à la première version de la règle de gestion, en attendant que des informations scientifiques et techniques montrent qu'une réduction des prélèvements en aval contribuera à la remontée des niveaux d'eau dans toute la vallée (y compris en amont).

5.4 Un enjeu de justice distributive mais aussi procédurale

L'élaboration d'une règle de gestion des prélèvements d'une ressource commune comme les eaux souterraines conduit les usagers à s'interroger sur le caractère juste et équitable du partage auquel elle conduit. La notion de justice est principalement abordée dans sa dimension distributive. Les débats qui ont eu lieu dans les ateliers ont également posé la question de la justice procédurale (Rinaudo et al, 2016). Les petits usagers considèrent comme injuste la règle de décision fixée dans les statuts de la CASUB, qui accorde des droits de vote proportionnels au nombre de droits détenus (en litres par seconde). Ils considèrent que le choix de la règle peut être effectué en mobilisant une vingtaine de gros usagers, qui détiennent à eux seuls les 2/3 des votes (Donoso et al, 2014). Ils ont de ce fait le sentiment que leur avis ne sera pas écouté, ils n'ont pas le sentiment d'appartenir à une véritable communauté et ils se préparent à une confrontation. On peut dès lors s'interroger sur les chances de succès de la démarche engagée par la CASUB, et inciter cette dernière à conduire une évaluation de l'acceptation de ses règles de gouvernance interne par l'ensemble de ses usagers. Ce travail n'avait en effet pas été réalisé au moment de la création des statuts, les usagers se sentant alors très peu concernés et ayant peu participé au processus d'élaboration des règles.

6 Conclusion

A rédiger.

Références

Bauer CJ (2004) Results of Chilean water markets: Empirical research since 1990 *Water Resources Research* 40

Berahmani, A., Faysse, N., Errahj, M., & Gafsi, M. (2012). CHASING WATER: DIVERGING FARMERS' STRATEGIES TO COPE WITH THE GROUNDWATER CRISIS IN THE COASTAL CHAOUIA REGION IN MOROCCO. *Irrigation and drainage*, 61(5), 673-681.

Dupeuty et al (à paraître) Developing substitution resources as a compensation for reduced groundwater entitlements: the case of Poitou Marshes (France) In Rinaudo, Holley, Barnett & Montginoul (eds). Sustainable groundwater management in France and Australia: comparison and implication to other countries. Springer.

Donoso G, Blanco E, Vergara A, Rivera D (2014) Capacitación y apoyo a comunidades de aguas subterráneas en el valle de Copiapó, Región de Atacama. Rapport Final . Comisión Nacional de Riego, Ministerio Agricultura, Santiago (Chile).

Donoso G (2015) Chilean Water Rights Markets as a Water Allocation Mechanism. In: Lago M, Mysiak J, Gómez CM, Delacámara G, Maziotis A (eds) Use of economic instruments in water management –

insights from international experience. Global Issues in Water Policy, vol 14. Springer-Verlag, Switzerland, p 423. doi:10.1007/978-3-319-18287-2

Faysse, N., Rinaudo, J.D., Bento, S., Richard-Ferroudji, A., Errahj, M., Varanda, M., Imache, A., Dionnet, M., Rollin, D., Garin, P., Kuper, M., Maton, L., Montginoul, M., (2014). Participatory analysis for adaptation to climate change in Mediterranean agricultural systems: possible choices in process design. *Regional Environmental Change*, 1-14.

Faysse, N., Sellika, I. E., Rinaudo, J. D., & Errahj, M. (2017). Participatory scenario planning for sustainable irrigated agriculture when actors seldom communicate: an experiment in Morocco. *International Journal of Water Resources Development*, 1-19.

Figureau A-G., Montginoul M. and Rinaudo J-D (2015) Policy instruments for decentralized management of agricultural groundwater abstraction: a participatory approach. *Ecological Economics* 119: 147-157. doi:10.1016/j.ecolecon.2015.08.011

Garrido A, Llamas MR (2009) Water policy in Spain. CRC Press,

Giordano M, Villholth KG (2007) The agricultural groundwater revolution: opportunities and threats to development vol 3. CABI

Lopez-Gunn E. 2003. The role of collective action in water governance: a comparative study of groundwater user associations in La Mancha Aquifer in Spain. *Water International* 28(3): 367-378.

Madramootoo, C A (2012) Sustainable groundwater use in agriculture. *Irrigation and Drainage* 61(S1): 26-33

Montginoul M, Rinaudo, JD, Brozovicz N and Donoso G (2016) Controlling groundwater exploitation through economic instruments: current practices challenges and innovative approaches. In: Jakeman, Barreteau, Hunt, Ross & Rinaudo (2016) Integrated groundwater management. Springer.

<http://link.springer.com/book/10.1007%2F978-3-319-23576-9>

Petit, O, Kuper M, Lopez-Gunn E, Rinaudo JD, Daoudi A, Lejars C (in press) Can Agricultural Groundwater Economies collapse? An Inquiry into the Pathways of four Groundwater Economies Under Threat. *Hydrogeology Journal*.

Rivera D (2015) Diagnóstico jurídico de las aguas subterráneas *Ius et Praxis* 21:225-266

Rinaudo, J.-D., M. Montginoul, M. Varanda, and S. Bento. (2012). Envisioning innovative groundwater regulation policies through scenario workshops in France and Portugal. *Irrigation and Drainage*.

Rinaudo, J.-D., Maton, L., Terrason, I., Chazot, S., Richard-Ferroudji, A., Caballero, Y (2013). Combining scenario workshops with modeling to assess future irrigation water demands. *Agricultural Water Management* 130, 103-112.

Rinaudo JD, Moreau C, Garin P (2016) Social Justice and Groundwater Allocation in Agriculture: A French case stud, in: Jakeman et al. Integrated groundwater management. Springer.

<http://link.springer.com/book/10.1007%2F978-3-319-23576-9>

Rinaudo, J. D., & Donoso, G. (2018). State, market or community failure? Untangling the determinants of groundwater depletion in Copiapó (Chile). *International Journal of Water Resources Development*, 1-21.

Rinaudo (à paraitre) The evolution of groundwater management policy in France. *In*: Rinaudo, Holley, Barnett & Montginoul (eds). Sustainable groundwater management in France and Australia: comparison and implication to other countries. Springer.

Rica, M, et al. "Whither collective action? Upscaling collective actions, politics and basin management in the process of 'legitimizing' an informal groundwater economy." *Water international* 39.4 (2014): 520-533.

Rosengrant, M.W. and H.P. Binswanger (1994), 'Markets in tradeable water rights: potential for efficiency gains in developing country water resource allocation', *World Development*, 22: 1613-1625

Schlager, Edella, and Elinor Ostrom. "Property-rights regimes and natural resources: a conceptual analysis." *Land economics*(1992): 249-262.

Vergara A, Arévalo G, Muñoz G, Rivera D, Vergara C (2011) *Código de Aguas Comentado*. Abeledo Perrot Legal Publishing Chile, Santiago, Chile

Vergara A (1992) Contribución a la historia del derecho de aguas, III: Fuentes y principios del derecho de aguas indiano *Revista Chilena de derecho* 19:311-332