



**HAL**  
open science

# Construction de la surexploitation et reproduction des inégalités d'accès et d'usage des eaux souterraines : Cas des exploitations agricoles dans le Saïss (Maroc)

Fatah Ameur

► **To cite this version:**

Fatah Ameur. Construction de la surexploitation et reproduction des inégalités d'accès et d'usage des eaux souterraines : Cas des exploitations agricoles dans le Saïss (Maroc). Hydrologie. AgroParisTech; Institut agronomique et vétérinaire Hassan II (Maroc), 2017. Français. NNT : 2017AGPT0009 . tel-01559544v2

**HAL Id: tel-01559544**

**<https://hal.science/tel-01559544v2>**

Submitted on 16 Jul 2020

**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.

N°: 2017AGPT0009

## Doctorat AgroParisTech

# THÈSE

pour obtenir le grade de docteur délivré par

**L'Institut des Sciences et Industries  
du Vivant et de l'Environnement**

**(AgroParisTech)**

**Spécialité : Sciences de l'eau**

Préparée dans le cadre d'une cotutelle entre  
l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II  
et l'Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement  
(AgroParisTech, école doctorale GAIA)

*présentée et soutenue publiquement par*

**Fatah AMEUR**

le 12/05/2017

## **Construction de la surexploitation et reproduction des inégalités d'accès et d'usage des eaux souterraines : Cas des exploitations agricoles dans le Saïss (Maroc)**

Directeur de thèse : **Marcel KUPER**

### **Jury**

**M. Ahmed BOUAZIZ**, Professeur, IAV Hassan II  
**M. Tarik HARTANI**, Professeur, Université de Tipaza  
**M. Bruno ROMAGNY**, Directeur de recherche, IRD  
**M. Ali HAMMANI**, Professeur, IAV Hassan II  
**M. Olivier PETIT**, Maître de conférences, Université d'Artois  
**M. Thierry RUF**, Directeur de recherche, IRD  
**M. Marcel KUPER**, Cadre scientifique des EPIC, IAV Hassan II /CIRAD

Président  
Rapporteur  
Rapporteur  
Examinateur  
Examinateur  
Examinateur  
Directeur de thèse

**AgroParisTech**

G-EAU - Gestion de l'Eau, Acteurs, Usages  
361 rue Jean-François BRETON BP 5095

## Sommaire

### **Chapitre 1. Introduction générale ----- 11**

#### **1.1. Introduction ----- 11**

#### **1.2. Surexploitation et inégalités socio-économiques : deux problèmes de gouvernance de l'eau souterraine ----- 14**

*1.2.1. La surexploitation : le facteur anthropique d'abord----- 15*

*1.2.2. La reproduction des inégalités dans la Groundwater Economy ----- 19*

#### **1.3. Quelle gouvernance des eaux souterraines ?----- 21**

*1.3.1. La GIRE : quelle réalité sur le terrain ? ----- 22*

*1.3.2. Trois perspectives nécessaires à l'analyse de la gouvernance des eaux souterraines ----- 25*

*La ressource : comment gérer les incertitudes inhérentes à son invisibilité ?----- 25*

*Les institutions : quels arrangements formels et informels pour l'appropriation et l'utilisation de la ressource ?----- 26*

*L'utilisateur : préciser les contributions des différents usagers à la surexploitation ----- 28*

#### **1.4. Le Saïss : une étude de cas particulièrement illustrative des enjeux de gouvernance de l'eau souterraine ----- 29**

#### **1.5. Cheminement scientifique ----- 30**

*1.5.1. Les sciences de l'eau pour mesurer les prélèvements et cerner les pratiques d'irrigation----- 31*

*1.5.2. Resituer ces prélèvements par une analyse des logiques des agriculteurs ----- 31*

*1.5.3. Littérature sur la gouvernance des eaux souterraines pour faire le lien entre surexploitation et inégalités ----- 34*

*1.5.4. Les démarches participatives pour repreciser des buts communs face aux défis à venir----- 34*

#### **1.6. Objectif de la thèse et questions de recherche ----- 35**

*1.6.1. Une réflexion sur les inégalités : comprendre le cercle vicieux qui les accentue---- 35*

*1.6.2. La réforme agraire : de la poursuite d'une justice à des inégalités tolérées ----- 37*

#### **1.7. Organisation de la thèse----- 39**

### **Chapitre 2. Méthodes d'estimation et d'extrapolation des pompages des eaux souterraines par l'intégration des pratiques locales : cas de la plaine du Saïss au Maroc----- 43**

*Méthodes d'estimation et d'extrapolation des pompages des eaux souterraines par l'intégration des pratiques locales : Cas de la plaine du Saïss au Maroc ----- 45*

*Résumé----- 45*

*Abstract----- 45*

|   |           |
|---|-----------|
| <b>2.1. Introduction</b>  | <b>47</b> |
| <b>2.2. Méthodologie</b>  | <b>48</b> |
| 2.2.1. <i>La zone d'étude</i>   | 48        |
| 2.2.2. <i>Approche méthodologique</i>   | 49        |
| Par les ouvrages de captage :   | 50        |
| Par les systèmes de culture :   | 50        |
| <b>2.3. Résultats</b>   | <b>51</b> |
| 2.3.1. <i>Déterminer des références locales par un suivi de l'irrigation détaillé de 20 exploitations agricoles</i>   | 51        |
| Connaissances des ouvrages de pompage : deux nappes et deux types d'ouvrages de captage   | 51        |
| Mesure des débits de pompage : une variabilité des débits des ouvrages de captage   | 52        |
| Estimation des volumes horaires du pompage  | 53        |
| Les références locales d'irrigation   | 55        |
| 2.3.2. <i>Construction méthodologique de l'extrapolation des références locales</i>   | 56        |
| L'extrapolation par ouvrages de captage de différents types d'agriculteurs  | 57        |
| L'extrapolation par intensité culturale de différents types d'agriculteurs  | 58        |
| L'extrapolation par assolements et pratiques d'irrigation   | 58        |
| 2.3.3. <i>Comparaison des résultats obtenus par des méthodes simplifiées avec la méthode de référence d'extrapolation par assolement</i>                      | 60        |
| <b>2.4. Discussion et conclusion</b>  | <b>62</b> |
| <b>Chapitre 3. Spécifier la contribution différenciée des agriculteurs à l'épuisement des eaux souterraines dans deux zones irriguées en Afrique du Nord.</b> | <b>65</b> |
| <i>Specifying the differentiated contribution of farmers to groundwater depletion in two irrigated areas in North Africa</i>                                  | 67        |
| <i>Abstract</i>   | 67        |
| <i>Résumé</i>   | 67        |
| <b>3.1. Introduction</b>  | <b>69</b> |
| <b>3.2. Methodology</b>   | <b>71</b> |
| 3.2.1. <i>Study area</i>  | 71        |
| 3.2.2. <i>Research approach</i>   | 73        |
| <b>3.3. Results</b>   | <b>73</b> |
| 3.3.1. <i>Historical construction of inequalities in the access to groundwater</i>  | 73        |
| The entrepreneurial state: the origins of inequalities in the access to land and water  | 74        |
| Transition period: dismantling the collectivist farm structures   | 75        |
| The state's staged comeback: attracting entrepreneurial farmers   | 76        |
| 3.3.2. <i>Socio-economic differentiation in farms: introducing a new cycle of inequity</i>  | 78        |
| 3.3.3. <i>Who causes groundwater depletion?</i>   | 80        |



|   |            |
|---|------------|
| <b>3.4. Discussion</b>  | <b>83</b>  |
| 3.4.1. <i>What impact of inequalities on groundwater depletion?</i>   | 83         |
| 3.4.2. <i>Processes of dispossession and marginalization</i>  | 84         |
| 3.4.3. <i>Linking planned depletion to rural development options.</i>   | 86         |
| <b>3.5. Conclusion</b>  | <b>86</b>  |
| <br>  |            |
| <b>Chapitre 4. Prospérer, survivre ou sortir : Destins contrastés des agriculteurs de la “Groundwater economy” dans la plaine du Saïss au Maroc</b> | <b>89</b>  |
| <br>  |            |
| <i>Prosper, survive or exit: contrasted fortunes of farmers in the groundwater economy in the Saïss plain (Morocco)</i>                             | 90         |
| <i>Abstract</i>   | 90         |
| <br>  |            |
| <b>4.1. Introduction</b>  | <b>91</b>  |
| <br>  |            |
| <b>4.2. Methodology</b>   | <b>93</b>  |
| 4.2.1. <i>The study area</i>  | 93         |
| 4.2.2. <i>The emergence of new actors on public land</i>  | 95         |
| 4.2.3. <i>Research Approach</i>   | 97         |
| <br>  |            |
| <b>4.3. Results</b>   | <b>98</b>  |
| 4.3.1. <i>Groundwater use: deconstructing the overall pressure on groundwater resources to understand farm differentiations</i>                     | 98         |
| General trends in water level and groundwater use in the study area   | 98         |
| Disaggregating the general trend of groundwater depletion to understand physical and economic water scarcity  | 99         |
| 4.3.2. <i>Importance of financial capital in “success” in the groundwater economy</i>   | 101        |
| 4.3.3. <i>Thrive or dive: inequality in the groundwater economy</i>   | 104        |
| <br>  |            |
| <b>4.4. Discussion: Prosper, survive or be evicted from the groundwater economy</b>   | <b>106</b> |
| 4.4.1. <i>The importance of financial capital in the groundwater economy</i>  | 106        |
| 4.4.2. <i>The process of socioeconomic differentiation is not isolated from public policies</i>   | 107        |
| <br>  |            |
| <b>4.5. Conclusion : an unsustainable groundwater economy</b>   | <b>108</b> |
| <br>  |            |
| <b>Chapitre 5 : Outiller un débat sur le rôle des jeunes agriculteurs dans une agriculture en transition dans le Saïss (Maroc)</b>                  | <b>111</b> |
| <br>  |            |
| <i>Outiller un débat sur le rôle des jeunes agriculteurs dans une agriculture en transition dans le Saïss (Maroc)</i>                               | 112        |
| <i>Résumé</i>   | 112        |
| <i>Abstract</i>   | 112        |
| <br>  |            |
| <b>5.1. Introduction</b>  | <b>114</b> |

|  |            |
|--|------------|
| <b>5.2. Méthodologie</b>   | <b>115</b> |
| 5.2.1. Zone d'étude  | 115        |
| 5.2.2. Démarche  | 115        |
| <b>5.3. Résultats</b>  | <b>118</b> |
| 5.3.1. Les ateliers de diagnostic participatif : la baisse tendancielle des prix comme problème central        | 118        |
| 5.3.2. Le jeu de rôles : l'eau est re-problématisée  | 118        |
| 5.3.3. Le collectif en question : les jeunes très impliqués dans les réflexions collectives                    | 119        |
| 5.3.4. Des joueurs et des rôles  | 120        |
| Les jeunes entrepreneurs pour mieux gérer, les attributaires ne jouent pas                                     | 120        |
| Les investisseurs ne réussissent pas sur des petites exploitations diversifiées                                | 121        |
| Les jeunes fils d'attributaires gèrent bien les grandes fermes   | 122        |
| <b>5.4. Discussion</b>   | <b>123</b> |
| 5.4.1. Une démarche participative pour permettre un débat multi-acteurs sur les défis...                       | 123        |
| 5.4.2. ...mais aussi pour préciser notre analyse des différentes stratégies intergénérationnelles dans le réel | 124        |
| 5.4.3. Des jeunes entrepreneurs au sein des exploitations familiales ?   | 124        |
| <b>5.6. Conclusion</b>   | <b>125</b> |
| <b>Chapitre 6. Conclusion générale</b>   | <b>127</b> |
| <b>6.1. Introduction : importance d'une prise en compte de l'utilisateur</b>                                   | <b>127</b> |
| <b>6.2. La gestion des eaux souterraines et le développement rural : quels (dés)accords ?</b>                  | <b>130</b> |
| <b>6.3. Des lacunes de connaissances et des perspectives de recherche</b>                                      | <b>132</b> |
| <b>Références bibliographiques</b>   | <b>135</b> |
| <b>Productions scientifiques en lien avec la thèse</b>   | <b>152</b> |
| <b>Annexe 1. Besoins en eau d'irrigation et volumes d'eau apportés dans la zone d'étude</b>                    | <b>154</b> |
| <b>Abstract :</b>  | <b>158</b> |
| <b>Résumé :</b>  | <b>159</b> |

## Liste des figures

|  |     |
|--|-----|
| Figure 1. Évolution des agricultures et la (re)production des inégalités.....  | 36  |
| Figure 2. Organisation générale de la thèse .....  | 39  |
| Figure 3. Schéma directeur de l'approche mobilisée.....  | 50  |
| Figure 4. Débits de pompage de référence pour deux types d'ouvrage captant deux types de nappes .....  | 53  |
| Figure 5. Exemple de déduction du temps d'irrigation par les enregistreurs de température .  | 54  |
| Figure 6. Les quatre méthodes d'extrapolation des références locales.....  | 57  |
| Figure 7. Superposition de couches de données traitées sous arcGIS (2014).....   | 59  |
| Figure 8. Résultats de différentes méthodes d'extrapolation.....   | 60  |
| Figure 9. a) Geographic location of Saïss and Lower Chelif plains. Study areas b) Iqadder and c) Quarizane .....   | 72  |
| Figure 10. Diachronic evolution of the access to groundwater in a process of agrarian change in Iqaddar .....  | 75  |
| Figure 11. The study area in the Saïss plain .....   | 94  |
| Figure 12. General trends in the use of groundwater and falling water table levels in the study area. Piezometer levels were monitored by the Sebou River Basin Agency and the groundwater abstraction in the study area was identified during the present study ..... | 98  |
| Figure 13. Differentiated groundwater use by actors involved in the groundwater economy.   | 99  |
| Figure 14. Net farm income trends among different social categories of farmers in the study area.....  | 101 |
| Figure 15. Example of assignees' sons engaged in other activities (mainly agricultural labor) to increase their income .....   | 105 |
| Figure 16. Schéma de l'ensemble de la démarche participative .....   | 116 |
| Figure 17. Jeu de rôles avec les agriculteurs et récapitulatif des discussions lors du débriefing .....  | 117 |
| Figure 18. Évolution des revenus d'une exploitation d'attributaire gérée par un attributaire et un jeune fils d'attributaire dans le jeu de rôles.....   | 121 |
| Figure 19. Évolution des revenus d'une petite exploitation gérée par un investisseur et un petit exploitant dans le jeu de rôles.....  | 122 |
| Figure 20. Évolution des revenus d'une exploitation d'un grand investisseur joué par deux fils d'attributaires dans le jeu de rôles .....  | 123 |

## Liste des tableaux

|   |     |
|---|-----|
| Tableau 1. Systèmes de culture pratiqués par type d'acteur (2013-2014).....   | 49  |
| Tableau 2. Synthèse des références locales d'irrigation (2013-2014).....  | 55  |
| Table 3. Farm net income distribution.....  | 78  |
| Table 4. Groundwater access and use of the different farm categories in Iqaddar (Saïss).....  | 81  |
| Table 5. The different categories of actors identified in Ouarizane .....   | 82  |
| Table 6. Actors, farm size and the type of farming systems in the study area .....  | 96  |
| Table 7. Distribution of net farm incomes on the selected farms in the sample.....  | 104 |
| Tableau 8. Récapitulatif de l'évolution de la trésorerie, consommation en eau et investissements réalisés pour les deux séances de jeu..... | 119 |

**Laboratoire où la thèse a été préparée :**

CIRAD, UMR G-eau L'Hortus 73, rue JF Breton 34398 Montpellier cedex 5, France

Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II (IAV/Hassan II), Madinat Al Irfane, B.P.6202,  
Rabat-Maroc

## *Dédicaces*

*À la mémoire de mes parents et frère aîné,  
Le destin ne nous a pas laissé le temps pour jouir ce bonheur ensemble et de  
vous exprimer mes respects.  
Puisse Dieu tout puissant vous accorder sa clémence et son infinie miséricorde  
et vous accueillir dans son saint paradis...*

*À ma famille pour l'amour et le respect qu'ils m'ont toujours accordé*

*À toute personne  
Qui m'a soutenu et aidé à franchir cet horizon*

## *Aimablement*

*Fatah AMEUR  
Je dédie ce travail ...*



## Remerciements

Ce travail de recherche est l'œuvre de ma passion d'apprenti-chercheur et surtout de diverses collaborations fructueuses durant ces cinq ans de travail de longue haleine. Je ne pourrai archiver ce document sans inclure mes remerciements.

Mes vifs remerciements s'adressent d'abord à Marcel Kuper pour la confiance qu'il m'a accordée, et de m'avoir suivi continuellement et avec bienveillance et rigueur scientifique pour l'aboutissement de travail de thèse, il trouvera ici toute mon amitié et mon profond respect pour ses compétences et qualités humaines sans failles. Ce travail n'aurait pu être mené à bien sans l'aide logistique et financements assurés, merci pour tout.

Mes sincères remerciements vont également à Caroline Lejars, Patrick Dugué et Ali Hammani d'avoir suivi de près mes enquêtes de terrain et encadré mes réflexions parfois embrouillées. Je remercie aussi toutes les personnes du collectif ARENA qui m'ont orienté, conseillé et soutenu, pour leurs relectures toujours scrupuleuses et avisées pour la production des différents chapitres de cette thèse.

Je tiens également à remercier l'UMR G-EAU pour l'accueil et les conditions de travail privilégiées qui m'ont été offertes, cela m'a permis d'enrichir mon expérience scientifique et humaine à travers les différents échanges et rencontres.

Mes remerciements vont aussi aux membres de jury qui ont accepté d'endosser le rôle de jury, et pour l'intérêt qu'ils ont manifesté à l'égard de ce travail de recherche.

Je sais tout particulièrement gré à ma complice et amie Meriem Farah Hamamouche avec qui j'ai « *partagé le sel* », merci d'être toujours disponible durant les moments les plus difficiles. Je remercie également Romaisa, Maya, Wafae, Rqia, Sara et FATIHA pour leurs soutiens durant les derniers moments de méditation, cogitation et ascèse avant le big time.

Rhoda, Saskia, Lisa, Eva, Valère, Claire... Merci pour les moments passés ensemble à Taoujdate et à El Hajeb, et pour nos discussions toujours passionnantes.

De Regraga à Ain Aghbale, de Ait Oumedghouss à Beni M'Guil, merci à vous les agriculteurs de m'avoir accueilli et surtout de m'avoir accepté comme l'un des vôtres.

Je suis redevable à toute personne ayant contribué de près ou de loin au bon déroulement et à l'aboutissement de cette recherche. Enfin ma reconnaissance va à celles et ceux qui ont plus particulièrement assuré le soutien affectif de ce travail : ma famille ainsi que mes amis.



---

---

# **Chapitre 1.**

## **Introduction générale**

---

---



## **1.1. Introduction**

De par ses nombreux avantages pour les usages anthropiques, l'eau souterraine est souvent plus convoitée que l'eau de surface du fait, en autres, de son accessibilité et sa disponibilité en permanence (souvent 24 h/24 et 7 jours/7) pour une large gamme d'agents économiques. Pour les agriculteurs, elle est une ressource de proximité par excellence (Margat, 2008). Par ailleurs, la recherche d'une meilleure sécurité d'approvisionnement en eau agricole fait de l'eau souterraine une ressource précieuse au sein même des périmètres irrigués par les eaux de surface. Dans le périmètre irrigué du Tadla au Maroc, par exemple, l'importance de l'eau souterraine a été révélée pendant les années de sécheresse du début des années 1980, et elle est devenue par la suite une ressource alternative en réponse aux déficits récurrents en eau de surface (Hammani et al., 2009). En outre, les données existantes sur l'utilisation de l'eau souterraine et sa valeur économique associée indiquent une plus grande productivité par rapport à l'irrigation par l'eau de surface (Hernández-Mora et al., 2007). En même temps, dans les zones dépourvues d'infrastructures de distribution d'eau de surface et concernées par une variabilité climatique ne permettant qu'une agriculture pluviale aléatoire, l'eau souterraine est un capital indispensable au développement agricole. Au-delà de ces avantages d'ordre pratique, l'intérêt manifesté à l'égard de l'eau souterraine est aussi d'ordre social, dans la mesure où elle octroie au propriétaire d'un puits ou forage d'obtenir un statut social plus élevé du fait de la modernisation possible de son agriculture (Quarouch et al., 2014). Ces usages contemporains des eaux souterraines ne doivent pas faire oublier que dans les régions au climat (semi-)aride, l'homme depuis des millénaires a su tirer partie de la présence de l'eau souterraine pour satisfaire ses besoins économiques et vitaux (Margat, 2008). Nous pouvons citer les anciennes techniques de captage (Foggaras / Khettaras ou puits artésiens) qui sont certes en déclin selon Remini et al. (2014), mais qui continuent de conditionner le « vivre ensemble » dans les oasis (Remini et al., 2010).

Le déploiement contemporain des ressources en eau souterraine pour faire face à la pénurie en eaux de surface a été un élément central de la stratégie du développement agricole et économique dans beaucoup de pays/régions au climat aride et semi-aride depuis 30-40 ans. Pendant cette période, les dynamiques agricoles doivent beaucoup à l'utilisation des eaux souterraines, l'exemple le plus connu étant la révolution verte en Inde (Foster et al., 2000; Moench, 2002; Shah, 2010). Plus généralement, la promotion de l'irrigation par les eaux souterraines a été faite pour des objectifs divers comme la croissance agricole, le renforcement des moyens de subsistance des ruraux et la poursuite de l'atteinte de l'objectif de sécurité alimentaire (Foster et al., 2000; Hanjra et Qureshi, 2010; Hussain et Hanjra, 2004; Shah et al., 2006). Dans les pays de l'Asie du Sud, c'est surtout en Inde que le développement de la GWE a été le plus impressionnant. Sur la période 1970-2000, la croissance des superficies irriguées par les eaux souterraines est de l'ordre de 178 % contre seulement 34 % enregistrée pour les superficies irriguées par les eaux de surface (Mukherji et Shah, 2005). Environ 70 % des productions agricoles indiennes sont irriguées par les eaux souterraines (Burke et Moench, 2000). Depuis le déploiement des politiques libérales (sur les plans politique et économique) à partir des années 1980, les agricultures irriguées des pays de

l'Afrique du Nord ont également connu des changements particulièrement rapides. L'extension de l'irrigation par les eaux souterraines a accompagné ces changements conduisant au développement d'une *Groundwater Economy* (GWE ; Shah, 2010), c'est-à-dire une économie agricole créée par l'utilisation des eaux souterraines et en Méditerranée de plus en plus orientée vers la pratique des cultures à forte valeur ajoutée destinées au marché (Kuper et al., 2009a). La GWE en Méditerranée se distinguerait donc de la GWE en Asie du Sud, plus massive et touchant une plus grande diversité d'agricultures (Mukherji et Shah, 2005). En Espagne, la productivité économique de l'agriculture irriguée par les eaux souterraines a ainsi été estimée cinq fois supérieure à celle tirée des eaux de surface et les opportunités d'emplois multipliées par trois (Llamas et Custodio, 2003), « *thus contributing to fulfill the motto of "more crops and jobs per drop"* » (Llamas et Martínez-Santos, 2005). Cependant, cela ne montre qu'une face de la médaille, en particulier à cause d'une mise en visibilité, dans différentes régions du monde, de la finitude de la ressource. Déjà à la fin des années 1990, 10% de la production alimentaire mondiale dépendait d'aquifères en régime de surexploitation (Postel, 1999). Dans les cas où l'agriculture irriguée par les eaux souterraines est la principale source de revenus, sa surexploitation est décrite par Faysse et al. (2012) comme « le talon d'Achille » de toute l'économie régionale.

D'une manière générale, le développement de l'utilisation de l'eau souterraine s'est opéré silencieusement, pendant que les États de bon nombre de pays investissaient dans des aménagements hydrauliques pour capter et mobiliser l'eau de surface (Llamas et Martínez-Santos, 2005). Des budgets importants ont été consacrés à l'agriculture irriguée par les eaux de surface, alors que l'irrigation privée par l'eau souterraine du fait de son incontestable productivité, a souvent été portée par l'initiative privée (Kuper et al., 2012). A l'échelle mondiale, près de la moitié de l'eau d'irrigation agricole provient aujourd'hui de l'eau souterraine (Jakeman et al., 2016). Des millions d'agriculteurs visant une amélioration de leur situation et à la recherche d'avantages à court terme ont été à l'origine du développement spectaculaire de l'utilisation des eaux souterraines, surtout dans les régions (semi-)arides (Llamas et Martínez-Santos, 2005). Ce développement s'opère en dehors des zones irriguées traditionnellement, mais il s'invite aussi dans les périmètres irrigués avec des eaux de surface pour prendre le relais et propulser de nouvelles dynamiques (Kuper et al., 2012). Ces périmètres sont d'origine communautaire ou aménagés par l'État. En Inde, par exemple, le développement le plus important de l'utilisation des eaux souterraines a eu lieu dans les périmètres aménagés de la grande hydraulique (Hussain et Hanjra, 2004). Mais l'irruption de l'eau souterraine dans les périmètres irrigués étatiques ne doit pas être ramenée seulement à la rareté de l'eau de surface. L'eau souterraine permettait une certaine « libération » de l'eau de l'État, en particulier au moment où les assolements étaient encore obligatoires (Kuper et al., 2016). Par la suite, l'eau souterraine permettait une diversification et une intensification des systèmes de production selon les propres choix des agriculteurs.

De la même façon, l'irruption de l'eau souterraine dans des périmètres irrigués communautaires constitue une perturbation du modèle d'irrigation collective. En effet, les systèmes d'irrigation collective ont été bouleversés par les nouvelles possibilités du libre accès à l'eau souterraine par des puits et forages mécanisés permettant de puiser l'eau en

grand débit et à toute heure. Par exemple lorsque les techniques modernes de pompage individuel se sont multipliées dans les agro systèmes oasiens ou à leur périphérie, l'organisation sociale des communautés qui y vivent a été progressivement altérée (Lightfoot, 1996). Les données disponibles dans le sud de l'Inde montrent que la propagation de l'irrigation par les puits a été l'un des principaux facteurs contribuant à la désintégration des communautés d'irrigation par les tanks<sup>1</sup> (Janakarajan, 1993).

Bien que la GWE ait joué un rôle dans l'amélioration des moyens de subsistance des agriculteurs, son importance en tant que moteur de la croissance économique rurale et régionale est restée sous-étudiée (Shah, 2007). Ceci est probablement dû à la difficulté de saisir le secteur informel développé par et pour la GWE dans de nombreux pays. Dans le Saïss au Maroc, par exemple, de nombreuses activités informelles se sont développées en amont et à l'aval de la production agricole, dans les filières de production et de commercialisation ainsi que dans le secteur de l'agrofourmiture (intrants, goutte à goutte) (Lejars et Courilleau, 2015). Par ailleurs, les problèmes liés à la surexploitation des eaux souterraines ont été soulignés dans de nombreuses études (Llamas et Custodio, 2002; Margat et Van der Gun, 2013; Wada et al., 2010), mais ces études se focalisent généralement sur des aspects hydrogéologiques (Rodell et al., 2009; Rodríguez-Estrella, 2012) ou réglementaires (Shah et al., 2008). Dans ces études, les irrigants sont souvent considérés comme un ensemble homogène, soit pour montrer la dynamique agricole insufflée par l'utilisation des eaux souterraines, soit pour dénoncer des prélèvements d'eau excessifs (Merrey et al., 2005). Très peu d'études font la part des choses entre les catégories sociales d'agriculteurs, entre ceux qui ont obtenu un accès à cette ressource et l'exploitent et ceux qui n'y ont pas ou peu d'accès. Pourtant, la GWE s'est souvent développée dans un contexte d'inégalités d'accès à la terre, qui s'est traduit par la suite dans des inégalités d'accès à l'eau souterraine (Prakash, 2005). Selon Carruthers et Stoner (1981), les politiques qui tentent la redistribution équitable des richesses par le développement de l'utilisation des eaux souterraines, finissent souvent par élargir le fossé entre les riches et les pauvres. L'accès à l'eau souterraine est le plus souvent associé à la disponibilité en ressources financières (pour les coûts de forage et de pompage) au détriment des droits et des règlements formels d'accès (Villholth et Giordano, 2007). En plus des objectifs de lutte contre la pauvreté et de développement économique régional, les politiques de développement de l'accès aux eaux souterraines visaient parfois à réduire certaines inégalités existantes, par exemple par l'installation de forages collectifs. Mais ce dernier objectif est difficile à atteindre et les politiques de développement accompagnant la GWE accentuent souvent ces inégalités : « *it is an increasingly recognised fact that the introduction of any technical improvement immediately widens the gap between rich and poor, whether it is in water supplies, tubewells or irrigation credits* » (Falkenmark et al., 1980). La recherche de résorption des inégalités par la promotion d'une technologie est selon Carruthers et Stoner (1981) une vaine entreprise dans la mesure où la technologie elle-même est souvent à l'origine du problème. Dès les premières années des révolutions vertes basées surtout sur l'utilisation des eaux souterraines, de nombreux observateurs ont débattu

---

<sup>1</sup> Il s'agit d'étangs, en forme de demi-lune, réalisés depuis le Moyen-Age pour barrer la pente et retenir l'eau.

de ses impacts distributionnels comme la progression des inégalités économiques (Jayaraman et Lanjouw, 1999). Cet ancien dilemme est aujourd'hui souvent associé à la crainte de l'épuisement de la ressource en eau souterraine dans un contexte de fortes baisses des nappes et de la dégradation de la qualité de l'eau. La surexploitation des nappes et la progression des inégalités sont devenues les deux problèmes dominants qui sont étroitement liés et qui caractérisent les modèles contemporains de l'utilisation des eaux souterraines. En effet, Bhatia (1992) a constaté dans l'État de Gujarat (Inde) que l'inégalité croissante entre agriculteurs dans l'utilisation des eaux souterraines est à la fois une conséquence critique et une cause majeure de surexploitation des eaux souterraines. Cette thèse se focalise ainsi sur ces deux problèmes de gouvernance, en analysant la relation entre la surexploitation des eaux souterraines et les inégalités d'accès et d'utilisation des eaux souterraines, et l'effet sur la différenciation socioéconomique entre exploitations agricoles.

## **1.2. Surexploitation et inégalités socio-économiques : deux problèmes de gouvernance de l'eau souterraine**

Lorsque l'utilisation des eaux souterraines a progressé avec des avantages socio-économiques importants, peu d'attention a été accordée à la gouvernance, à la conservation et à la protection de cette ressource (Kulkarni et al., 2015). Le débat international sur la gouvernance des eaux souterraines est donc le produit d'une menace croissante de pénurie d'eau qui entraîne une transition du développement de l'accès à cette ressource (accroissement de l'offre) vers sa gestion (Shah, 2007). La gouvernance des eaux souterraines est un processus complexe dont l'efficacité est influencée par les défis liés à la détermination et à la mise en œuvre des politiques d'allocation des eaux souterraines et à la coordination des responsabilités entre les frontières géographiques, sectorielles et juridictionnelles (Jakeman et al., 2016). Cependant, dans les faits, de nombreuses politiques ne se sont pas encore adaptées au contexte de surexploitation des eaux souterraines. Dans toute l'Asie, bien que les symptômes de la surexploitation sont de plus en plus visibles, les politiques publiques fonctionnent toujours en mode « développement », considérant la disponibilité de l'eau souterraine comme illimitée, et concentrant leurs énergies sur l'amélioration de la production et la productivité de l'eau souterraine (Shah, 2007). C'est aussi le cas dans le Saïss au Maroc, lorsque les aquifères sont déclarés surexploités par l'agence de bassin hydraulique de Sebou depuis sa création en 2002. Les politiques agricoles et économiques prennent le dessus sur la politique environnementale via le Plan Maroc Vert visant surtout l'intensification agricole (Fofack et al., 2015). Une meilleure intégration entre les politiques agricole et environnementale est selon Dosi (2001) nécessaire pour réduire la pression exercée sur les ressources en eau souterraine.

La difficulté majeure pour amorcer un tel virage est peut-être due à la difficulté de détecter le passage vers un régime de surexploitation de cette ressource naturelle. Dans un contexte où il y a un manque d'informations sur la ressource, il devient complexe d'évaluer les causes des événements passés et les événements futurs sont difficiles à prévoir (Ludwig et al., 1993). L'eau souterraine puisqu'invisible est difficile à conceptualiser et à évaluer, bien que le concept de surexploitation contient une idée sur les effets indésirables du développement

fulgurant que connaît l'exploitation de l'eau souterraine. Néanmoins ce concept demeure difficile à définir (Giordano et Villholth, 2007), notamment dû au fait de la faible compréhension des processus naturels et anthropiques imbriqués à laquelle sont confrontés les gestionnaires de l'eau souterraine (Llamas et al., 1992). Un autre problème de gouvernance qui n'est pas bien étudié est celui des inégalités d'accès et d'utilisation caractérisant les communautés locales utilisant l'eau souterraine. Lorsque Bardhan et Dayton-Johnson (2007) s'intéressaient à la gestion de l'eau par des communautés, ils se sont rapidement focalisés sur la problématique des inégalités. Ils constataient en effet que les inégalités sociales (l'existence des castes par exemple) influencent les processus de coopération. Ces inégalités sociales sont doublées d'inégalités économiques dans le monde contemporain, à cause des interdépendances existantes. Bhatia (1992) conclut ainsi que « *inequity and overexploitation are, thus, the two ugly heads of the monster of groundwater misutilisation* ». Ce sont aussi les deux problèmes contemporains auxquels la gouvernance des eaux souterraines tente de remédier à travers divers moyens d'intervention matérielle et juridique.

### **1.2.1. La surexploitation : le facteur anthropique d'abord**

Il n'y a pas de définition consensuelle du concept de surexploitation chez les hydrogéologues. Bredehoeft (2002) explique, par exemple, que le terme est souvent utilisé en référence à une hypothétique valeur de recharge naturelle. Le raisonnement (erroné selon lui) serait alors de dire que tant que les prélèvements restent au niveau de cette valeur, on peut parler d'un aquifère en équilibre. C'est ce qu'il appelle le *water budget myth*. Or, le moindre prélèvement, ou plus généralement l'action anthropique perturbe le fonctionnement hydrologique et il est donc préférable d'étudier sur une longue durée les dynamiques des aquifères sous l'influence du climat et de l'action anthropique. En 1989, lors de la conférence sur la surexploitation des aquifères tenue à Almeria, en Espagne, plusieurs contributions ont essayé de clarifier ce concept (Rodríguez-Estrella, 2014). Ce débat a constitué par la suite le thème de la 13<sup>e</sup> conférence de l'association internationale des hydrogéologues (IAH). La définition probablement la plus informée est celle proposée par Custodio (2002) qui considère que la surexploitation se produit lorsque sur plusieurs années le taux d'extraction moyen est supérieur ou proche du taux de recharge. Cependant, l'étendue spatiale et le type de l'aquifère sont souvent contestés. Pour les nappes captives peu renouvelables, Margat (1977) considère que prévenir la surexploitation est un « faux problème », car l'exploitation de ces aquifères formés depuis des millénaires se fait toujours en régime de déséquilibre. Des études de datation par radio-isotopes stables indiquent par exemple que le système aquifère Nubien transfrontalier (partagé entre la Libye, l'Égypte, le Tchad et le Soudan) a été rechargé il y a un million d'années pendant les périodes du Pléistocène marquées par des précipitations abondantes (Gleeson et al., 2010). Dans ces situations, la surexploitation est inhérente à toute forme d'exploitation. Même si les hydrogéologues sont très prudents et indiquent un grand nombre d'incertitudes dans leurs connaissances sur les dynamiques des aquifères sous influence anthropique, les études et modèles hydrogéologiques indiquent aujourd'hui une tendance globale de réduction des ressources en eau souterraine (Wada et al., 2010). A l'échelle mondiale, les prélèvements en eau

souterraine ont été multipliés par 10 entre 1950 et 2000, passant d'environ 100 à presque 1000 Km<sup>3</sup>/an (Margat et Van der Gun, 2013). Mais dans beaucoup de situations, ce constat général n'a pas entraîné une réorientation dans la gouvernance des eaux souterraines à l'échelle régionale ou nationale. Souvent, la déclaration de la surexploitation par des hydrogéologues n'a pas été accompagnée de mesures réglementaires strictes, et même si c'est le cas, ces mesures n'ont pas été mises en œuvre avec succès, entraînant une situation de déclin que connaissent de nombreux aquifères (Hernández-Mora et al., 2007).

Une fois le concept défini, le problème de surexploitation des eaux souterraines se déplace de la représentation conceptuelle à l'évaluation et à la mesure du phénomène. Comme la recharge et les prélèvements dans un système aquifère sont des termes difficiles à quantifier, la surexploitation est souvent liée à l'observation et à la perception de certains résultats négatifs, à l'instar des baisses des niveaux piézométriques (Custodio, 2000). Même si ces tendances de baisse des niveaux piézométriques observées sont fréquemment vues comme un indicateur de déséquilibre, l'approche est cependant simpliste (Hernández-Mora et al., 2001). Les conditions de sécheresse peuvent être à l'origine de la baisse des niveaux des nappes, mais lorsque cette baisse devient chronique, elle est souvent associée au terme de surexploitation, phénomène très souvent attribué à l'action exercée par l'homme sur la ressource. Pour gérer la ressource, il faut connaître son état et son comportement face aux différentes formes d'action anthropique (construction de barrages ou retenues collinaires, pompages...). Or ces actions anthropiques sont souvent mal cernées. Dans plusieurs pays, lorsque des estimations sont faites, par exemple, sur le pompage des eaux souterraines, elles sont le résultat des calculs de bilan hydrique et n'informent même pas sur l'emplacement des puits ou forages (Wada et al., 2010). Le pompage des eaux souterraines pour l'irrigation est souvent le terme quantitatif le plus important dans le bilan hydrique. Ce terme est soit sous ou surestimé ce qui transmet une incertitude forte aux autres termes du bilan. Ce facteur d'incertitude est encore plus important dans les situations caractérisées par l'utilisation intensive des eaux souterraines par une multitude de puits et forages dispersés dans l'espace, qui rendent la quantification directe fastidieuse et très coûteuse (Castaño et al., 2010). Différentes méthodes indirectes ont été développées afin de réduire l'incertitude. Nous pouvons citer celles utilisant la télédétection et les systèmes d'informations géographiques (Castaño et al., 2010; Rodell et al., 2009) ; celles considérant le pompage comme la variable inconnue à estimer à partir du bilan hydrogéologique (Ruud et al., 2004). Mais l'ensemble de ces méthodes sous-estime les interactions des systèmes aquifères complexes et anthropisés, ignore l'utilisateur et ne fournit pas les clés pour planifier la gestion (Massuel et al., 2017).

La croissance démographique, l'expansion de l'agriculture irriguée et le développement économique sont les principaux moteurs de déplétion des ressources en eau souterraine (Wada et al., 2010), comme c'est le cas en Chine. Les baisses les plus importantes des niveaux des aquifères ont été enregistrées là où est observée une forte pratique d'agriculture intensive (Changming et al., 2001). La cause principale du déclin des nappes souterraines est souvent le développement intensif des eaux souterraines pour l'irrigation, amplement facilité par l'avènement de la technique du forage (Knegt et Vincent, 2001). Les inventaires globaux montrent en effet que l'agriculture irriguée représente près de 80% de l'utilisation de l'eau

douce dans le monde (Famiglietti, 2014). L'Inde est le pays le plus dépendant des eaux souterraines. Dans les zones concernées par la révolution verte comme le Punjab et le Nord-Ouest de Gujarat, les taux des prélèvements sont deux fois supérieurs aux taux de recharge et 90% des puits souffrent d'une sérieuse baisse des niveaux d'eau jusqu'au tarissement total (Barlow et Clarke, 2003). Mais la surexploitation des eaux souterraines ne doit cependant pas être réduite aux problèmes d'épuisement des volumes. Konikow et Kendy (2005) fournissent un deuxième domaine d'investigation en considérant la qualité des eaux souterraines. Par exemple, l'intrusion des eaux de mer dans un aquifère côtier peut représenter un appauvrissement important de qualité de l'eau. La détérioration de la qualité est aussi d'origine anthropique, par les pratiques parfois intensives en intrants fertilisants et phytosanitaires (Angeliaume-Descamps et Oballos, 2009; Keddal et N'dri, 2008). Les prélèvements excessifs affectent également le cycle hydrologique. D'une part les sources et le débit de rivières diminuent, d'autre part ces prélèvements excessifs provoquent l'affaissement des sols et donc la diminution des capacités du stockage des aquifères (Fornés et al., 2005; Konikow et Kendy, 2005). Il est donc reconnu que le pompage des eaux souterraines est l'un des changements anthropiques les plus importants qui affectent le cycle hydrologique, entraînant des dysfonctionnements dans les régimes et flux des aquifères (Moench, 2004).

Depuis les années 1980, la révolution dans les technologies d'accès et de pompage de l'eau souterraine a permis de puiser plus profond pour capter des ressources plus abondantes. De plus la réduction des coûts de ces techniques a accru chez les utilisateurs la logique d'accès individuel, non régulé, pour une utilisation plus flexible de l'eau souterraine (Molle et al., 2003). En Inde, cette révolution est la plus spectaculaire, car l'État central a encouragé fortement la dissémination de ce progrès technique. S'il modère depuis les années 1990 ses politiques d'incitation, il continue en revanche de subventionner l'électricité dans certains États comme le Tamil Nadu, permettant au propriétaire de la technologie de puiser autant que possible pour accroître les productions et les rendements agricoles (Petit, 2005). En Afrique du Nord, l'expansion rapide des forages est, à première vue, le fruit des subventions indirectes des énergies de pompage, le gaz à butane au Maroc (Doukkali et Lejars, 2015) et l'électricité en Algérie et en Tunisie (Kuper et al., 2016). Mais cette expansion rapide des forages repose aussi sur le développement d'un marché de service informel pour la réalisation des forages et l'acquisition des équipements de pompage (ibid). Contrairement aux techniques traditionnelles de construction des puits, fondées sur un capital social parfois fort, les techniques modernes de forage et d'exhaure mécanisées à faible coût ont permis à la fois d'augmenter les prélèvements, mais surtout de perpétuer une utilisation individuelle de l'eau (Grellet, 2001). Cette individualisation dans l'utilisation a conduit à des augmentations dans les prélèvements, à des baisses plus importantes des niveaux des aquifères, et finalement à une pénurie d'eau plus accentuée (Wang et al., 2009). Le succès rencontré par les marchés informels de l'eau a augmenté encore plus l'utilisation des eaux souterraines. Par exemple, Shah et al. (2006) estiment qu'au moins un tiers des forages en Asie du Sud fournissent l'eau non seulement à son propriétaire, mais aussi à d'autres agriculteurs qui achètent l'eau. Lorsque l'accès individuel devient très coûteux pour de petites exploitations à cause de la baisse du niveau des nappes, ces contraintes ont parfois été levées grâce à l'organisation des agriculteurs en coopératives de forages (Shah et Bhattacharya, 1993). Dans d'autres cas,

certains agriculteurs sont obligés de se retirer de la GWE puisqu'ils ne sont plus en mesure de forer plus profond et ainsi suivre la baisse des nappes (Janakarajan et Moench, 2006).

L'agriculture contemporaine irriguée par les eaux souterraines est de plus en plus capitalisée. Le recours de plus en plus massif à l'utilisation des eaux souterraines s'est accompagné du développement d'une agriculture intensive dans la plaine du Saïss au Maroc (mécanisation, intrants). Les piézomètres continuent de témoigner des baisses tendancielle des niveaux des eaux souterraines et les puits captant la nappe phréatique subissent un tarissement lui aussi tendanciel (Ameur et al., soumis). L'eau souterraine a attiré des entreprises capitalistes intéressées par des filières à haute valeur ajoutée pour construire des oligopoles et se connecter aux marchés internationaux (Molle, 2011). Selon le même auteur, les porteurs de ce modèle en Afrique du Nord et au Proche Orient sont souvent des investisseurs issus d'autres secteurs économiques qu'agricoles et qui ont profité de réformes libérales et de subventions facilitant l'accès à la terre et aux capitaux. Il y a donc souvent une juxtaposition de différents modèles d'agriculture sur un même territoire, souvent en compétition pour les mêmes ressources (terre, eau, main d'œuvre, etc.).

L'exploitation des eaux souterraines dépend de plus en plus de l'accès au capital financier (Shah, 2010). En effet, Blignaut et al. (2009) estiment que dans un contexte de hausse des coûts de production et de rareté de l'eau, l'augmentation du revenu agricole ne peut être soutenue que par l'utilisation intensive du capital financier. Diwakara et Chandrakanth (2007) parlent de l'accès économique à l'eau souterraine qui augmente avec le rendement de l'accès physique et avec l'importance des superficies irriguées. Ils estiment également que les revenus nets sont davantage corrélés avec les coûts de production qu'avec les quantités d'eau utilisées. La doctrine « *more crop per drop* » visant la productivité de l'eau semble être associée aux quantités de capitaux investis dans l'amélioration des techniques de production. Elle entraîne souvent une extension de la superficie irriguée et une intensification culturale, suivies d'une plus grande consommation en eau. Le paradoxe est que les politiques de développement agricole désignent souvent l'agriculture moderne comme une réponse à la rareté de l'eau. Cela est problématique non seulement parce que l'impact réel à différentes échelles (parcelle, exploitation, bassin versant) est rarement mesuré, mais aussi parce qu'elles discréditent la petite agriculture qui de par ses techniques d'irrigation obsolètes serait synonyme de gaspillage d'eau et de faible rentabilité économique (Dugué et al., 2014). En effet, beaucoup d'espoir a été porté ces dernières années sur les techniques d'irrigation censées être plus économes en eau (le goutte-à-goutte) dont l'efficacité *in situ* n'est pas souvent observée ou mesurée sur le terrain. Les rares études disponibles montrent des efficacités mitigées. Par exemple, Benouniche (2014) a montré que dans des conditions de pratiques réelles, les volumes apportés par le goutte-à-goutte peuvent parfois être le triple des besoins en eau d'irrigation. L'amélioration de la productivité agricole obtenue grâce à cette technique encourage les agriculteurs à sur-irriguer (annexe 1) afin d'obtenir des rendements plus élevés.

La surexploitation des eaux souterraines a été, dans plusieurs régions, le fruit d'un laissez-faire, bien souvent entretenu par les gouvernements octroyant à des utilisateurs individuels les moyens nécessaires au développement de l'usage intensif de ces ressources. Mais une fois



le problème de la surexploitation reconnu, il s'agit d'opérer un changement dans l'approche de la gestion des eaux souterraines, de l'abandon du *laissez-faire* à la recherche d'une gestion active des aquifères (Kemper, 2004). Cependant, lorsque l'utilisation de l'eau souterraine est devenue importante sur les plans politique et socio-économique, en partie garantie par ces politiques de *laissez-faire*, la gouvernance des eaux souterraines se confronte alors à la problématique du libre accès. L'une des difficultés fondamentales de cette gouvernance est de circonscrire un régime de propriété à attribuer aux eaux souterraines (Bied-Charreton et al., 2006). Pour Knecht et Vincent (2001), la question alors est de savoir comment passer de l'accès libre à un accès régulé et pour tous. En effet, presque dans toutes les situations où la gouvernance des eaux souterraines éprouve des difficultés à appréhender le problème de surexploitation, des situations d'inégalités ont été révélées (Bardhan et Dayton-Johnson, 2007; Foster et Chilton, 2003).

### **1.2.2. La reproduction des inégalités dans la Groundwater Economy**

Les inégalités d'accès et d'utilisation des ressources sont souvent décrites comme des formes d'hétérogénéités ou d'asymétries (culturelle, religieuse, ethnique, raciale, sociales et économique...) entre les utilisateurs des ressources communes (Baland et Platteau, 1996a; Bardhan et Dayton-Johnson, 2000; Ruttan, 2008). Des travaux à l'échelle internationale s'intéressant à l'utilisation et à la gouvernance des eaux souterraines ont soulevé ce problème d'inégalités structurelles de l'accès à la ressource (Bardhan et Dayton-Johnson, 2007; Madhusudan Bhattarai et al., 2001). Certains auteurs ont également étudié l'effet de ces inégalités sur les processus de différenciation socioéconomique entre les exploitations agricoles ou les ménages (Amichi et al., 2012; Harriss-White et Janakrajan, 1997; Prakash, 2005; Sarkar, 2011), et leurs impacts sur la gouvernance (Baland et Platteau, 1999; Hoogesteger et Wester, 2015; Prakash, 2008). Si sur la première question les travaux de la *political ecology* pointent tous l'impact négatif des inégalités d'accès sur la différenciation socio-économique, la relation entre les inégalités d'accès et la surexploitation des eaux souterraines est notoirement ambiguë (Baland et Platteau, 1999; Varughese et Ostrom, 2001).

Les perspectives relatives à cette relation dans la littérature sur les biens communs sont généralement de deux ordres : *“The first, pioneered by Olson (1965), and subsequently formalized in the theory of public goods, holds that inequality favors collective action. The second view, closely associated with the field-study literature, insists that heterogeneities hamper collective action”* (Bardhan et Dayton-Johnson, 2002). Selon Cardenas et al. (2002), la première ligne de pensée influencée par les travaux d'Olson suggère que les individus les plus riches d'un groupe feront davantage pour protéger les ressources locales que leurs homologues plus pauvres. Cardenas (2003) a examiné pour sa part l'effet de la richesse sur les niveaux de coopération et a révélé que l'inégalité économique accrue entre les membres du groupe entraîne une distanciation sociale et une diminution de la coopération pour gérer les ressources communes. Ce débat non concluant est probablement dû à la diversité des situations et aux qualificatifs que l'on peut attribuer au terme inégalité. Baland et Platteau (2007) estiment que la véritable source de cette ambiguïté réside dans le fait que l'inégalité n'est pas unidimensionnelle. Il est possible que certaines dimensions de l'inégalité soient propices à l'action collective, tandis que d'autres lui nuisent. Par exemple, Lawler et Yoon

(1996) ont montré comment la symétrie du pouvoir entre individus augmente la fréquence des accords mutuels pour des comportements cohésifs. Si et d'une manière moins évidente, une certaine hétérogénéité dans les dotations en ressources initiales n'est pas un obstacle et peut même faciliter la gestion en permettant à certaines parties prenantes de supporter les coûts du rôle de leadership, une extrême inégalité, par contre, peut être fatale pour les initiatives de décentralisation (Blomquist et al., 2005). L'inégalité économique peut accroître la possibilité pour une minorité puissante d'imposer des règles du jeu dont ils tirent des avantages aux dépens de la grande majorité de la communauté, et lorsque cette minorité puissante anticipe ce comportement opportuniste, la grande majorité refuserait de coopérer (Molinas, 1998). Par ailleurs, Baland et Platteau, (1996b) montrent que pour un bien commun dont les rendements de l'effort collectif décroissent, les agents ayant des dotations économiques plus importantes seront plus susceptibles de restreindre son exploitation. Ce comportement peut avoir un effet catalyseur sur le comportement des autres utilisateurs, renforçant ainsi la coopération. Dans ces situations où les membres les mieux dotés tendent à contribuer davantage, il ne s'ensuit pas automatiquement que l'inégalité elle-même favorise l'action collective (Baland et Platteau, 1999). C'est pourquoi Baland et Platteau (2007) soulignent que l'impact précis de l'inégalité dépend essentiellement du problème spécifique qui est examiné. Il faut donc soigneusement évaluer les caractéristiques de la communauté, de la ressource commune et de l'environnement pour interpréter de façon significative la preuve empirique. Sous un autre angle, quand les utilisateurs ont un horizon temporel plus court ils ont également une tendance à adopter des stratégies qui donnent des résultats plus immédiats et à ignorer les considérations de long terme visant la conservation des ressources (Baland et Platteau, 1996b). Cependant, d'autres travaux théoriques ont démontré la relation en U entre l'inégalité et la gestion des biens communs par le biais de l'action collective, c'est-à-dire des niveaux d'inégalité très élevés et très faibles sont associés à une meilleure performance de gestion tandis que les niveaux moyens d'inégalité sont associés à des résultats médiocres (Bardhan et Dayton-Johnson, 2000). La proposition opposée montre au contraire que cette relation est en U inversée (Molinas, 1998). Il en ressort que la relation entre les inégalités et la gouvernance n'est pas statique et n'est pas généralisable d'un bien à un autre ou d'un lieu à un autre. C'est à cause de cet impact très variable des inégalités sur la gestion des ressources naturelles qu'Adhikari et Lovett (2006) proposent une gouvernance flexible permettant la mise en place de plans de gestion adaptés aux conditions locales.

Dans plusieurs situations et malgré des restrictions tentées par les pouvoirs publics, l'exploitation des eaux souterraines demeure en libre accès. Toute gestion des ressources naturelles est perçue comme une recherche d'institutions permettant d'assurer la réalisation simultanée de trois objectifs : productivité (ou efficacité), durabilité et équité (Sivramkrishna et Jyotishi, 2009). Cependant, en pratique, la recherche de ces trois objectifs concomitants est souvent compromise (Molle, 2008). Par exemple, les responsables des politiques en charge des eaux souterraines sont généralement pris dans une tension entre ces trois pôles. Faut-il favoriser l'accès à l'eau pour les agriculteurs marginalisés de la génération actuelle, favoriser la croissance économique et la productivité agricole ou préserver la ressource pour les générations futures (Aguilar, 2010) ? Non seulement ces objectifs rentrent souvent en conflit, mais il existe aussi des liens réciproques entre eux. Par exemple, entre les inégalités d'accès

et d'utilisation de l'eau souterraine, et le problème de surexploitation. C'est le cas quand en régime de surexploitation, des inégalités socio-économiques aggravées apparaissent lorsque sont évincés ceux possédant des puits asséchés à cause de la baisse des niveaux des aquifères (Ameur et al., 2017; Janakarajan et Moench, 2006; Kuper et al., 2016; Sarkar, 2011). Par exemple l'assèchement des puits peu profonds situés dans la zone d'influence des puits profonds peut engendrer des conflits sociaux entre usagers qui se disputent l'eau (Fornés et al., 2005). Ainsi, la surexploitation toucherait davantage les pauvres qui sont piégés dans un phénomène de compétition dans le surcreusement des forages qui, avec l'augmentation induite des coûts du pompage, a rapidement entraîné un phénomène d'exclusion sélective (Karami et Hayati, 2005; Shah et al., 2000). En effet, des milliers d'agriculteurs qui autrefois se sont libérés de la pauvreté grâce à l'accès aux ressources productives éprouvent aujourd'hui des difficultés à cause du manque d'accès à ces ressources et aux inégalités croissantes qui en découlent (Rigg, 2006).

Paradoxalement, l'eau souterraine, qui était l'un des moyens de lutte contre la pauvreté, peut ainsi reproduire de nouveau, par son utilisation intensive, cette pauvreté. Les conditions socio-économiques créées par la surexploitation des nappes dans les zones rurales des pays en développement peuvent être plus complexes et propices à l'iniquité sociale si les agriculteurs plus riches contribuent à l'épuisement de la nappe phréatique en-dessous du fond des puits des agriculteurs pauvres (Janakarajan, 1999). C'est une différenciation dans laquelle ceux ayant un meilleur accès au capital et aux autres ressources profitent progressivement de ces bénéfices aux dépens des agriculteurs qui en sont dépourvus « *Groundwater depletion leaves some wealthy, the rest poor* » (Moench, 1999). Dans les cas extrêmes de surexploitation, les usagers sont forcés à faire des transitions économiques et sociales, en cédant ou louant leurs terres aux utilisateurs concurrents (Burke, 2002). Il en résulte ainsi des différenciations socioéconomiques entre exploitations agricoles qui matérialisent la dynamique des inégalités d'accès et d'utilisation de l'eau souterraine et l'accaparement de l'eau souterraine par les plus riches. Dans de telles conditions, l'irrigation par un puits est devenue un pari alors que beaucoup d'agriculteurs échouent et perdent dans la course à l'approfondissement (Janakarajan, 1999).

Bien que de nombreuses agences de l'eau incluent explicitement l'objectif de créer des allocations équitables, elles ont peu de connaissances systématiques sur la façon de définir et d'opérationnaliser les principes d'équité (Neal et al., 2014). Dans la mesure où il n'y a pas de théorie universelle de l'équité pour satisfaire toutes les utilisations et utilisateurs, bien souvent, les perdants dans les décisions d'allocation sont les communautés marginalisées, les individus sans pouvoir et la ressource elle-même qui est surexploitée (Neal et al., 2016). Nous avons montré comment, dans les nouvelles formes d'agriculture à partir des eaux souterraines, le capital financier est devenu le facteur de production le plus décisif comparé aux facteurs terre et l'eau. Certaines catégories d'agriculteurs même avec un accès à l'eau souterraine et à la terre sont poussées à évoluer à la périphérie de la GWE lorsque le capital financier manque (Ameur et al., soumis).

### **1.3. Quelle gouvernance des eaux souterraines ?**

À l'échelle mondiale, la décentralisation est devenue le paradigme dominant de la gouvernance des eaux souterraines (Birkenholtz, 2009). Cette gouvernance, si elle implique plus de participation des usagers aux différentes échelles d'action, interroge d'abord le rôle de l'État central et de la décentralisation de son autorité. Parfois la décentralisation accroît le contrôle de l'État (*recentralizing while decentralizing*) (Ribot et al., 2006). La création des agences de bassin pour initier une gestion effective des ressources en eau souterraine est l'un des moyens de cette décentralisation. La gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) est souvent proposée comme une nouvelle méthode de gestion des ressources en eau dans un objectif de recherche des trois 'E' (efficacité économique, durabilité environnementale, équité ; Molle, 2008). Cependant, cette méthode rencontre des difficultés sur le terrain et a du mal à se traduire en gestion effective, surtout dans le cas des eaux souterraines invisibles et confrontées à une utilisation atomistique.

### **1.3.1. La GIRE : quelle réalité sur le terrain ?**

La GIRE peut être considérée comme le prolongement du concept de gouvernance, dans la mesure où elle cherche à combiner les différents instruments politiques de gouvernance. Le concept de la GIRE a émergé suite au constat que la gestion de l'eau connaît une fragmentation entre divers secteurs économiques et, au plan des politiques publiques, entre ministères (Molle, 2012a). Ce concept a été plébiscité par des agences internationales de développement (Global Water Partnership, UNESCO...), dans le cadre de conférences internationales (Forums mondiaux de l'eau) et à travers la littérature scientifique, même si on trouve dans chaque cas, des partisans et des opposants à ce concept. Selon Molle (2009), les concepts d'intégration ont réussi à déplacer des points de vue sectoriels ou technocentriques étroits. Le concept a été formulé par le Partenariat Mondial de l'Eau comme: « *un processus qui favorise le développement et la gestion coordonnés de l'eau, des terres et des ressources connexes, en vue de maximiser, de manière équitable, le bien-être économique et social en résultant, sans pour autant compromettre la pérennité d'écosystèmes vitaux* » (Petit, 2009).

Selon Xie (2006) cette définition distille quatre éléments clés : 1) La GIRE est un processus coordonné qui rassemble les différentes parties prenantes; 2) Elle met l'accent sur le bien-être économique et social, l'équité et la protection des écosystèmes; 3) Elle utilise des données et outils scientifiques pour fournir une base solide pour le jugement; 4) Elle met l'accent sur une bonne gouvernance impliquant une participation démocratique. La GIRE considère que l'eau est une propriété publique permettant à l'État de concéder des usages privatifs en agissant comme un acteur essentiel pour introduire des lois concertées sur l'eau et un cadre juridique pour la planification (Shah, 2010). La GIRE a été aussi influencée par le néolibéralisme (Petit et Baron, 2009) avec la montée en puissance de la pensée économique libérale qui revendique de considérer l'eau comme bien économique puisque « rare », alors qu'autrefois l'eau était présumée disponible en quantité illimitée et sans valeur d'échange (Calvo-Mendieta, 2005; Petit et Romagny, 2009). Mais l'élément le plus important selon Merrey et al. (2005) concerne la notion d'intégration. Ceci permet de distinguer la GIRE des approches traditionnelles qui dissocient par exemple la gestion des eaux de surface et celle relative aux eaux souterraines. La GIRE suppose la reconnaissance de l'interconnectivité qui existe entre l'eau de surface et l'eau souterraine pour une gestion intégrée. La GIRE rompt aussi avec les

approches sectorielles de la gestion de l'eau et avec les décisions de développement prises au profit d'un seul groupe d'utilisateurs (Giordano et Shah, 2014). Jønch-Clausen et Fugl (2001) analysent le terme «intégration» et le catégorisent en deux systèmes : 1) le système naturel qui implique essentiellement l'intégration entre l'eau et la terre ; les eaux de surface et les eaux souterraines ; les enjeux quantitatifs et qualitatifs, et 2) le système humain impliquant l'intégration de l'eau dans l'économie nationale, l'intégration intersectorielle dans l'élaboration des politiques nationales et la participation de toutes les parties prenantes aux différents niveaux de gestion. Les critères primordiaux que poursuit la GIRE tiennent compte des conditions sociales, économiques et naturelles selon le triptyque : équité, efficacité économique et durabilité (GWP, 2000). Ce concept assimile donc les trois piliers du développement durable (Molle, 2012a). Pour opérationnaliser ce triptyque, par son approche d'intégration, la GIRE tente ainsi de mettre en pratique les principes de Dublin<sup>2</sup>, en mettant l'accent sur la décentralisation, la durabilité économique et financière à l'échelle d'un bassin versant, vu comme une unité de décision (Giordano et Shah, 2014). Le bassin versant pour les eaux de surface et le système aquifère pour les eaux souterraines ont été réfléchis comme de nouveaux modèles territoriaux cohérents pour la GIRE (Buller, 1996; Petit et Baron, 2009). Selon le rapport de l'UNEP (2012), depuis les années 1990, environ 80% des pays ont entrepris des réformes propices à la gestion des ressources en eau, en se basant sur l'application des approches intégrées. Cependant ces évaluations normatives ont reçu beaucoup de critiques, car il est très difficile de définir des indicateurs permettant d'évaluer le progrès du concept instable de la GIRE (Petit, 2016).

Il faut cependant noter que la GIRE est un processus et non pas un produit, car elle ne fournit pas un plan spécifique pour un problème donné de gestion de l'eau, mais ses principes, ses outils et ses lignes directrices doivent être adaptés au contexte spécifique de chaque région (Xie, 2006). Elle est processuelle, car elle apparaît comme une cible en mouvement, du fait de l'évolution des problèmes tout comme des valeurs sociales qui changent au fil du temps (Molle, 2012a). C'est donc au moment de sa mise en œuvre que la GIRE rencontre des difficultés de différents ordres. Si le concept paraît large, englobant et ambitieux, il a quand même une faible résonance en pratique et il est extrêmement difficile à le rendre opérationnel (Biswas, 2004; Petit, 2016). Par conséquent, de nombreuses questions ont été soulevées sur les défis de la GIRE (Petit et Baron, 2009). Elle est tellement ambitieuse, que son caractère d'intégration à différentes échelles a pris 30 ans en France et 20 ans en Espagne pour mettre en œuvre quelques intégrations, alors que certains objectifs tels que la durabilité économique complète et la conciliation des besoins en eau prendront donc encore plus de temps à être intégrés (Xie, 2006). Petit et Baron (2009) analysent le cas du Burkina Faso comme pays pilote de la GIRE et révèlent des difficultés de mise en œuvre liées aux processus de

---

<sup>2</sup> 1. L'eau douce est une ressource limitée et vulnérable, essentielle à la vie, au développement et à l'environnement.

2. Le développement et la gestion de l'eau devraient être fondés sur une approche participative, impliquant les utilisateurs, les planificateurs et les décideurs à tous les niveaux.

3. Les femmes jouent un rôle central dans la fourniture, la gestion et la sauvegarde de l'eau.

4. L'eau a une valeur économique dans toutes ses utilisations concurrentes et doit être reconnue comme un bien économique.

décentralisation en raison du manque de délégation compétente et des fonds limités alloués aux collectivités locales dans le secteur de l'eau. Les auteurs soulignent aussi des choix institutionnels confus, par exemple l'existence de deux ministères impliqués dans les questions liées à l'eau, et les initiatives conçues au niveau national qui éprouvent des difficultés à être mises en œuvre au niveau local. Une ligne de fracture entre les ministères sectoriels concernés par l'eau est à l'origine d'une compétition, que ce soit pour des questions de prérogatives ou de budget, qui sont très préjudiciables à la GIRE (Molle, 2012b).

Bien souvent, les principes de la GIRE comme modèle de gouvernance rencontrent des problèmes et des conflits. Des lobbies d'agriculteurs ont été constitués dans les régions arides et semi-arides du monde entier pour protéger leurs intérêts liés à l'irrigation. Ces lobbies entrent souvent en conflit avec des lobbies opposés ayant des agendas environnementaux, économiques et même politiques (Llamas et Martínez-Santos, 2005). En Espagne comme au Mexique, la mise en œuvre de diverses clauses de législation par les gestionnaires des eaux souterraines s'est révélée difficile à cause des lobbies d'agriculteurs qui résistent avec force à toute restriction de leurs droits sur les eaux souterraines (Mukherji et Shah, 2005). Dans la vallée du Souss au Maroc, lorsque les nappes sont surexploitées, des lobbies de grands agrumiculteurs entrent en coalition avec les administrations publiques pour négocier de nouvelles ressources en eau de surface pendant que la majorité des petits propriétaires perd l'accès à l'eau souterraine et ne bénéficie pas des transferts d'eau de surface (Faysse et al., 2012; Houdret, 2008). Parmi les facteurs qui semblent favoriser le développement des lobbies agricoles, on remarque la présence de grands propriétaires fonciers d'une part et la forte dépendance à l'utilisation de l'eau souterraine d'autre part (Mukherji, 2006). L'auteur observe également, dans le cas indien, que la présence ou l'absence des lobbies détermine si les réglementations sur l'utilisation des eaux souterraines peuvent être opérantes. Lorsqu'elles sont faibles comme au Bengale occidental, les réglementations sur les eaux souterraines peuvent être mises en œuvre avec succès, mais au Gujarat où elles sont très présentes, tout effort pour contrôler l'exploitation des eaux souterraines reste illusoire. Mais dans la plupart des pays, des paradigmes comme la GIRE préconisant la gestion directe de la demande sont fondamentalement en désaccord avec le caractère hautement informel de la GWE qui reste en dehors des mécanismes formels de gouvernance (Shah et Van Koppen, 2006). Shah et Van Koppen (2006) soulèvent ce défi important de la confrontation de la GIRE avec la nature informelle de l'utilisation des eaux souterraines : « *How does any administration effectively enforce a groundwater law if 20 million farming households owning irrigation wells are strongly opposed to it ?* ». Bien que des organismes et leurs administrateurs mobilisent la boîte à outils de la GIRE, l'utilisateur reste méconnu, car il n'est pas encore reconnu comme une partie prenante la gouvernance de l'eau. Une meilleure connaissance de l'utilisateur de l'eau souterraine prépare ainsi son insertion dans une politique de gestion intégrée. Mais le plus souvent, sa participation demeure une consultation symbolique, sans pouvoir de prise de décision (Wester et Bron, 1998).

Si pour les eaux souterraines il n'y a pas de recette simple permettant une gestion durable tout en respectant les principes de la justice environnementale, c'est parce que sa gestion est souvent basée sur une privatisation des usages et une valorisation économique (Hoogesteger

et Wester, 2015). C'est dans ce sens que les objectifs de la GIRE (économique, social et environnemental) entrent en conflit, paraissent incompatibles, et sont souvent repoussés vers le long terme. L'alliance entre la durabilité et une plus grande justice environnementale ne sont selon Molle (2012) possibles qu'à travers l'émergence d'une nouvelle gouvernance. Cette gouvernance doit placer dans son agenda la question urgente de l'équité dans l'utilisation des eaux souterraines (Hoogesteger et Wester, 2015). Selon Mukherji et Shah (2005), il est utile d'informer la gouvernance par la construction de connaissances selon trois perspectives (ressources, institutions et usagers).

### **1.3.2. Trois perspectives nécessaires à l'analyse de la gouvernance des eaux souterraines**

Si les efforts consentis pour concevoir des modèles de gestion des eaux souterraines ont jusqu'à présent connu peu de succès, c'est parce qu'ils sont souvent pensés d'une manière centralisée pour être appliqués à une diversité de configurations socio-économiques et de conditions hydrogéologiques qui permettent l'utilisation des eaux souterraines (Jha et Sinha, 2009). Malgré la confrontation de différentes écoles de pensées sur la manière d'envisager une gestion des eaux souterraines appuyée par certaines expériences : régulation indirecte par le contrôle de l'électricité (Shah et al. 2008) ; régulation communautaire (Ostrom, 1990) ; régulation par le marché (Anderson et Snyder, 1997), elles restent cependant toutes difficiles à mettre en œuvre sans un certain nombre d'informations et de connaissances. C'est pourquoi Mukherji et Shah (2005) proposent de distinguer puis associer trois perspectives de gouvernance, liées aux ressources, aux institutions et aux usagers de l'eau souterraine. Ils notent une forte asymétrie des connaissances sur les eaux souterraines dominées par les sciences hydrogéologiques comparées aux sciences sociales par exemple. Pour mieux gérer les ressources, il faut donc connaître 1) les dynamiques des eaux souterraines sous influence anthropique (données sur les stocks, flux, bilans et sur la qualité) ; 2) les institutions à travers lesquelles les eaux souterraines sont mobilisées, appropriées, utilisées et gérées ; 3) le comportement des usagers vis-à-vis de l'eau souterraine.

#### ***La ressource : comment gérer les incertitudes inhérentes à son invisibilité ?***

Beaucoup d'études à l'international portent sur cette perspective et insistent sur le problème de surexploitation (Chandrakanth et Romm, 1990; Custodio, 2002; Giordano et Villholth, 2007; Konikow et Kendy, 2005; Llamas et Martínez-Santos, 2005; Margat et Van der Gun, 2013; Rodell et al., 2009; Rodríguez-Estrella, 2012; Wada et al., 2010). Cependant ces études sont soumises à l'incertitude à cause de l'invisibilité et la complexité des dynamiques des aquifères. L'hydrogéologie des aquifères est si complexe qu'il est impératif d'en tenir compte dans la gestion des pompages des ressources en eau souterraine (Kifanyi et al., 2016). La complexité des dynamiques des aquifères sous l'influence anthropique est étudiée à travers la modélisation hydrogéologique, mais beaucoup reste à faire. L'hétérogénéité dans les structures aquifères est reconnue comme l'un des facteurs contribuant à l'incertitude dans la prévision du comportement des écoulements souterrains (Gelhar, 1986). La caractérisation complète des aquifères n'est ni pratiquement possible ni économiquement faisable. Des approches alternatives ont été développées pour concevoir des stratégies de pompage qui reconnaissent l'incertitude due à l'inadéquation des données (Ndambuki, 2001). De

nombreuses méthodes d'estimation s'appuient sur l'hypothèse d'homogénéité en raison des difficultés mathématiques d'inclure l'hétérogénéité (Jim Yeh, 1992). La difficulté réside dans le fait d'intégrer les effets de l'incertitude de modélisation de flux dans le processus de prise de décision (Ndambuki et al., 2000). Le contrôle des prélèvements le plus approprié pour la gestion des eaux souterraines peut donc être formulé comme un problème de contrôle optimal en situation d'incertitude (Andricevic, 1990). Les modèles numériques de l'hydraulique souterraine sont des outils efficaces pour obtenir, par exemple, des informations raisonnables sur les relations entre les composantes des bilans hydrogéologiques, mais aussi pour simuler les impacts des scénarios de gestion de l'eau souterraine proposés (Cao et al., 2013). Toutes ces perspectives liées à la ressource énoncent ainsi un état des lieux, l'effet de l'utilisation sur la ressource lorsque les flux et stocks dans le cycle hydrogéologique sont estimés. La gouvernance doit ainsi prêter attention à la connaissance et à la compréhension des dynamiques de la ressource. L'évaluation des dynamiques hydrodynamiques des eaux souterraines, les caractéristiques physiques et l'étendue des aquifères, et la modélisation prédictive des flux ont besoin d'un système informationnel qui doit continuellement être mis à jour et mieux informé. Cela permettrait d'orienter la gestion des eaux souterraines par des décisions intelligentes, celles qui proposent des alternatives techniques robustes en vue de rendre plus efficiente l'utilisation de l'eau (Oreskes et al., 1994). Pour cela Konikow et Bredehoeft (1992) préconisent plus d'efforts pour développer une compréhension complète des systèmes à modéliser avec l'acceptation des incertitudes liées à l'hétérogénéité spatiale des paramètres physiques des aquifères. En effet, pour concevoir des modèles physiques, un grand nombre d'expériences sur le terrain sont nécessaires pour obtenir les données hydrogéologiques détaillées dans l'espace et dans le temps (Tian et al., 2016). Mais malgré les progrès contemporains en outils d'analyse numérique, il reste beaucoup à faire pour maîtriser l'incertitude dans la perspective d'une gestion scientifiquement robuste. Dans plusieurs situations les planificateurs et les gestionnaires sont fréquemment forcés de prendre des décisions sans informations ou une compréhension complète et ceci peut avoir des conséquences négatives sur les ressources (Mitchell, 2013).

***Les institutions : quels arrangements formels et informels pour l'appropriation et l'utilisation de la ressource ?***

La décentralisation est un processus par lequel l'autorité centrale est supposée partager les droits de prise de décision sur les ressources aux institutions à des niveaux inférieurs dans la hiérarchie politico-administrative et territoriale (Agrawal et Ostrom, 2001). Ce processus de gouvernance décentralisée a pour objectif une plus grande implication des acteurs locaux et est analysé par différents courants scientifiques (Agrawal et Ostrom, 2001; Birkenholtz, 2009; Larson et Soto, 2008). Dans cette littérature les usagers sont considérés plutôt comme une solution qu'un problème à l'égard de la dégradation des ressources naturelles (Larson et Soto, 2008), en faisant l'hypothèse que le contrôle des ressources naturelles est plus efficace quand les populations locales jouent un rôle dans la production des règles, de la conception jusqu'à la mise en œuvre (Larson et Soto, 2008; Ostrom, 1990; Rogers, 2006). La gestion des conflits entre usagers doit faire partie des institutions mises en place pour passer de la confrontation à la coopération (Llamas et Martinez-Santos, 2006). La compréhension des



inégalités socioéconomiques pour la formulation des règles est un pré requis, car ce sont souvent les usagers socialement et économiquement solvables, qui ont de l'influence auprès de l'agent administratif pour négocier leurs propres intérêts. La décentralisation est en effet susceptible d'avoir des effets sociaux et économiques positifs quand elle cherche des représentations responsables des populations locales (Turton et al., 2007). Cependant, Ribot. (2002) considère que le transfert de pouvoir à des institutions qui ne représentent pas les populations locales est dangereux. Il considère aussi que l'établissement d'une représentation responsable sans ce pouvoir est vide de portée. Mais en réalité, ce transfert est souvent incomplet lorsque les agents de l'État résistent au plein transfert du pouvoir pour éviter la perte du contrôle qu'ils exercent.

Plus généralement, même si l'État à première vue semble absent des dynamiques agricoles à partir des eaux souterraines, il reste souvent omniprésent dans les processus de gouvernance de ces ressources et intervient à travers plusieurs canaux pour faire valoir ses divers intérêts : 1) le développement économique à travers le soutien des dynamiques créées par l'utilisation de l'eau souterraine, surtout dans les régions où l'agriculture est dominante (Shah et al., 2003); 2) l'intensification agricole par la promotion de nouvelles cultures à haute valeur ajoutée et d'innovations techniques exigeant beaucoup d'eau et de capital (Alauddin et Quiggin, 2008); 3) la stabilité sociale lorsque le développement de l'utilisation des ressources en eau est utilisé comme un outil clé pour remédier aux causes sociales de l'instabilité (Moench, 2002); 4) la préservation des ressources pour éviter l'instabilité sociale et pérenniser les mécanismes de sortie de la pauvreté (ibid). Durant ces dernières décennies, l'intensification agricole domine les orientations politiques pour le développement agricole, parfois au détriment des eaux souterraines qui deviennent surexploitées et des inégalités associées. Il est donc important de ne pas oublier le rôle de l'état dans l'analyse des institutions, même si elles sont informelles.

Inversement, l'adaptation des structures formelles de gouvernance et ses paradigmes sous-jacents ne peut pas se produire en dehors du contexte sociétal. Il s'agit de la compréhension des dynamiques institutionnelles souvent informelles qui permettent les changements dans les structures de gouvernance (Pahl-Wostl et al., 2007). Puisqu'il n'y a pas de modèle standard de gouvernance des eaux souterraines qui peut être mis en œuvre dans différents lieux et circonstances, la compréhension de ces institutions locales, et leur interaction avec des dispositifs formels permet de saisir les mécanismes par lesquels les usagers s'approprient et utilisent la ressource (Theesfeld, 2010). Par exemple l'émergence des marchés informels de l'eau en Inde a été analysée par de nombreux chercheurs qui ont considéré ces marchés comme une option institutionnelle pour l'utilisation efficace et équitable des ressources en eau souterraine et ont identifié diverses politiques pour leur promotion active (Meinzen-Dick, 1998; Shah, 1993, 1985; Shah et Raju, 1988). Cependant, d'autres chercheurs comme Saleth (1994) estiment que ces effets positifs de court terme sont bien négligeables par rapport aux inégalités intergénérationnelles et aux effets de l'épuisement. Il reste en effet beaucoup à connaître sur ces arrangements institutionnels formels et informels par lesquels les eaux souterraines sont appropriées (Mukherji et Shah, 2005; Theesfeld, 2010; Usunoff, 2005). Malgré l'existence d'instruments de gouvernance formelle (régulation directe, instruments

économiques, etc.), les institutions informelles continuent à élargir les frontières de l'utilisation de l'eau souterraine.

### ***L'usager : préciser les contributions des différents usagers à la surexploitation***

La perspective de l'utilisateur est peut-être la moins étudiée dans la littérature internationale. Les cadres institutionnels ne considèrent souvent pas les différents groupes d'utilisateurs des ressources naturelles (Edwards, 1996). Or, l'influence anthropique croissante sur les ressources en eau souterraine ne doit pas être considérée dans sa globalité, car une définition aussi large de l'utilisateur : 1) masque les inégalités existantes, 2) ne permet pas de comprendre les différents facteurs qui régissent les prélèvements agricoles ; et 3) porte préjudice à la conception de dispositifs de régulation d'accès et d'utilisation de la ressource, en absence de connaissances sur les usages et les usagers. Il est donc clairement pertinent de mieux identifier ceux qui exploitent et ceux qui surexploitent et pour quelles conditions socio-économiques. Selon Edwards et Steins (1998), cette distinction entre différentes catégories d'utilisateurs peut aider à expliquer les types de pression physique exercée sur les ressources, mais aussi les intérêts des différentes catégories dans l'évolution des institutions qui régissent l'accès et l'usage de la ressource. La distinction entre ces différentes catégories sociales permet ainsi de départager les responsabilités face aux problèmes de surexploitation, afin d'envisager des actions de gestion adaptées aux situations locales. Le cadre institutionnel devrait ainsi proposer différentes catégories de règles propres à chaque groupe d'utilisateurs (Edwards et Steins, 1998). Ce cadre institutionnel pourra éviter les externalités associées à un accès non contrôlé des utilisateurs à la ressource, comme la surexploitation, la marginalisation de certaines catégories sociales et les conflits entre les utilisateurs (Steins et Edwards, 1999). Un « user perspective » fait en conséquence le lien avec à la fois le 'resource' perspective et le 'institutional' perspective. Par exemple Sun et al. (2009) montrent que les revenus de plus en plus faibles tirés de l'irrigation par les eaux souterraines, en cas de baisse des nappes, n'incitent pas les utilisateurs à chercher l'optimisation de l'utilisation. Ceux-ci cherchent des sources alternatives de revenus qui deviennent des mécanismes d'adaptation importants. Mieux comprendre les stratégies et pratiques des différentes catégories d'usagers peut renforcer la compréhension des perspectives orientées uniquement sur la ressource. En effet, les incertitudes dans l'évaluation de l'eau souterraine invisible pourraient être mieux appréhendées par la mesure directe si l'interférence de l'homme avec la ressource est bien investiguée (pratiques d'irrigation, par exemple). Le facteur humain est difficile à appréhender vis-à-vis de l'eau souterraine, que ce soit dans la pratique du pompage ou l'irrigation. Cela influence le comportement du système aquifère de l'eau souterraine sous influence anthropique (Kifanyi et al., 2016).

Traditionnellement, les gestionnaires des ressources en eau souterraine sont pour la plupart des hydrogéologues, ayant des connaissances limitées sur les aspects socio-économiques ou sur les différents secteurs d'utilisation (l'agriculture, par exemple). De même, les sciences sociales qui travaillent sur les questions d'eau souterraine ont une compréhension limitée de l'hydrogéologie (Sun et al., 2009). Aujourd'hui, les analyses d'un tel système et les régimes d'accès exigent un effort interdisciplinaire qui combine des perspectives sur la ressource, sur l'utilisateur, sur les arrangements institutionnels régissant l'utilisation, les stratégies des

utilisateurs individuels et les aspects socioéconomiques (Edwards et Steins, 1998; Mukherji et Shah, 2005; Sun et al., 2009).

#### **1.4. Le Saïss : une étude de cas particulièrement illustrative des enjeux de gouvernance de l'eau souterraine**

L'agriculture de la plaine du Saïss est devenue, durant la dernière décennie, très dynamique et orientée de plus en plus vers une utilisation intensive des facteurs de production (eau, capital, terre). Cette transition en cours est en effet portée par la mobilisation de nouvelles techniques : forages profonds, irrigation au goutte-à-goutte, mécanisation des pratiques agricoles, etc. Gameroff et Pommier (2012) en réalisant un diagnostic agraire de cette plaine du Saïss, ont identifié 12 systèmes de production, témoignant ainsi la diversité des agricultures pratiquées d'une part, et des disparités structurelles existantes en matière de la taille des exploitations agricoles par exemple. Historiquement, cette dynamique agraire de la plaine du Saïss (environ 210 000 ha), a été portée par le développement de l'exploitation des eaux souterraines par les agriculteurs. Bien que les colons mobilisaient déjà ces ressources durant le protectorat français (1912 – 1956), l'extension de cette pratique est surtout liée à partir des années 1980 aux épisodes de sécheresse et au tarissement des quelques résurgences naturelles (les sources) qui servaient pour l'irrigation de petites surfaces.

La richesse de cette plaine parfois appelée par les agriculteurs “le pays de l'oignon” réside particulièrement dans ses ressources en eau souterraine (une nappe phréatique dans les formations sableuses et une nappe captive profonde dans les formations liasiques). La bonne fertilité des sols à dominance argileuse est aussi un atout remarquable. La mobilisation des eaux souterraines concernait donc surtout la nappe phréatique par des puits traditionnels, même si le caractère ascendant de la nappe profonde avait été mis en évidence dès le protectorat (Margat, 1955). Les dynamiques agraires sont devenues tellement importantes qu'elles ne peuvent plus être soutenues par cette nappe phréatique dont le rendement hydraulique en déclin était perçu par la baisse des niveaux d'eau dans les puits. La nappe profonde a été mobilisée, essentiellement depuis les années 2000 pour permettre plus de souplesse et s'est traduit par l'élargissement des frontières du secteur irrigué. Face à de telles dynamiques agricoles portées donc essentiellement par les eaux souterraines, la surexploitation devient très difficile à appréhender et la planification d'une gestion par l'agence de bassin basée sur régulation de la demande (systèmes d'autorisation, technique d'irrigation économe en eau) reste pour le moment peu opérationnelle.

Contrairement au problème de surexploitation de la ressource en eau, les inégalités d'accès et d'utilisation de l'eau souterraine ne sont pas encore étudiées. Cette réflexion semble être totalement absente du discours de l'agence qui tient la surexploitation comme le seul problème à régler par des modalités de gouvernance à inventer ou à imposer aux agriculteurs. Nous avons choisi de travailler dans une petite zone du Saïss (la commune d'Iqaddar), qui témoigne d'une forte dynamique agricole exerçant une forte pression sur les eaux souterraines. Cette zone d'étude présente par ailleurs une diversité de catégories sociales d'agriculteurs ayant différentes logiques qui façonnent différemment l'anthropisation des eaux souterraines. Ces inégalités d'accès et d'utilisation de l'eau souterraine produisent des

richesses économiques, qui financent à leur tour la pratique de surexploitation des eaux souterraines. De ce fait, elles méritent d'être prises en considération dans l'amélioration de la gouvernance pour mieux planifier des actions de gestion de la ressource.

### **1.5. Cheminement scientifique**

Dans la production d'une thèse de doctorat, la démarche scientifique constitue un élément indispensable. Elle façonne le processus allant de la production de l'information jusqu'à la valorisation des connaissances acquises par enquête et mesures. La conception d'une démarche scientifique dans une thèse comprend également le cheminement scientifique dans une discipline d'abord puis son ouverture à d'autres connaissances. La formation d'ingénieur agronome spécialisé en hydraulique agricole avec une orientation dans le génie rural permet d'élaborer les principaux fondements des connaissances théoriques. Durant ce parcours académique, on nous a formé aux bases de l'hydrogéologie et de l'hydraulique comme les écoulements souterrains, les différentes structures d'aquifères et ses paramètres physiques, les ouvrages de captage et les essais de pompage. On nous a également préparé à la complexité des calculs relatifs à cet objet invisible qui est l'eau souterraine, si éloignée de la réalité observable, mais aussi pour la situer dans le continuum du cycle de l'eau. Durant cette spécialisation précédée d'un enseignement général des sciences agronomiques, nous sommes amenés à faire des calculs économiques et de la modélisation agropédologique par le logiciel STICS. Cette modélisation a été le cadre de mon projet de recherche se rapportant aux pratiques d'irrigation - pour la culture de pommes de terre en particulier. Un master en irrigation et gestion de l'eau m'a par la suite permis d'améliorer mes compétences à la fois théoriques, mais surtout pratiques dans le domaine de l'irrigation, à la rencontre des irrigants mobilisant différentes techniques d'irrigation. Mon mémoire de master s'est déroulé dans la plaine du Saïss où je me suis confronté aux réalités du terrain.

Ces compétences théoriques et pratiques en sciences agronomiques alliant sciences biophysiques et sciences humaines m'ont permis d'approfondir et d'allier -au besoin- différentes connaissances en vue d'améliorer la pertinence de mes observations et surtout mes analyses et interprétations. Dans cette posture interdisciplinaire, et pour répondre aux questions de ma thèse, mon attitude a été celle de l'ingénieur spécialisé en génie rural pour mieux cerner les usages de l'eau souterraine, qui en lien avec les sciences de l'eau m'ont parfaitement préparé pour resituer ces usages dans le problème de surexploitation des eaux souterraines. Les sciences agro-économiques m'ont octroyé les outils pour cerner l'objet 'exploitation agricole' et les systèmes de production, et pour reconstituer par la suite les processus de différenciation socioéconomique et la (re)production des inégalités. Enfin, par ces compétences, mais surtout grâce à celles forgées sur le terrain, la construction et l'instrumentalisation d'une démarche participative - en jouant le rôle de l'animateur facilitateur - a ouvert la réflexion collective qui jusque-là se trouvait étouffée par les comportements individualistes, soutenus parfois par l'indifférence à l'égard de cette eau souterraine.

### **1.5.1. Les sciences de l'eau pour mesurer les prélèvements et cerner les pratiques d'irrigation**

Les questions relatives à l'eau nécessitent une compréhension à travers plusieurs disciplines scientifiques et les sciences de l'eau offrent cette approche interdisciplinaire. Pour les eaux souterraines, les réponses aux questionnements scientifiques sont complexes. Cette thèse entremêle sciences de l'eau et de l'ingénieur dans le cadre d'un projet de recherche international<sup>3</sup> et à travers une cotutelle internationale visant à favoriser les échanges scientifiques. Cette thèse a commencé par problématiser la question de la surexploitation des eaux souterraines et des inégalités d'accès et d'utilisation qui lui sont afférentes. Pour cela, il était fondamental de mesurer les prélèvements réalisés dans les eaux souterraines sur un cycle annuel.

Face à un développement atomistique de l'utilisation de l'eau souterraine et aux comportements hétérogènes des usagers, il est impératif de conjuguer l'observation directe des pratiques d'irrigation, des enquêtes (sur le calendrier d'irrigation, par exemple) et des mesures. En effet, lorsque l'on demande à un agriculteur de présenter son calendrier d'irrigation, la réponse commence souvent par « tout dépend... ». Par cette réponse on mesure la difficulté d'une telle tâche. Si le débitmètre permet dans une certaine mesure l'acquisition de l'information sur des débits de pompage, le temps d'irrigation quant à lui est tellement variable qu'il nécessite la mesure directe. C'est la tâche la plus ardue de toute la phase de terrain. Les sciences de l'eau nous offrent ici les bases nécessaires pour comprendre comment s'opère le pompage par différentes techniques captant différents aquifères. Une fois l'eau extraite, les références en irrigation nous permettent de comprendre comment l'eau est acheminée jusqu'à la parcelle. Mais ils nous offrent surtout des instruments nécessaires pour comprendre les pratiques d'irrigation en milieu rural et agricole. Lorsqu'il s'agit de mesures, il est surtout question d'adaptation aux difficultés quotidiennes. Il faut donc réfléchir pour comprendre d'abord ce qui fait la difficulté et comment la surmonter. Cette réflexion a abouti par exemple à adopter et adapter une méthode de mesure des temps de pompage par l'utilisation des enregistreurs de températures pour contourner les difficultés de mesure ou d'évaluation des temps de pompages (voir chapitre 2). Une fois la construction des références locales d'irrigation achevée, il fallait construire une méthode de changement d'échelle pour obtenir des résultats fiables sur les prélèvements à l'échelle de la région. Les systèmes d'information géographique (SIG) nous ont aidés à appréhender la maîtrise technique des prélèvements lorsque les acteurs, les exploitations, les parcelles, les techniques de pompage et de l'irrigation sont très divers, mais spatialement identifiés.

### **1.5.2. Resituer ces prélèvements par une analyse des logiques des agriculteurs**

La diversité des pratiques d'irrigation observée sur le terrain dépend du comportement des agriculteurs face à l'irrigation qui est elle-même fonction de nombreux facteurs. Il s'agit dans

---

<sup>3</sup> Le projet ANR 'Groundwater Arena' a constitué le cadre dans lequel cette thèse s'est déroulée. La thèse a bénéficié de nombreux échanges avec des scientifiques de plusieurs disciplines et sur plusieurs terrains au Maghreb.

un premier temps d'identifier ces facteurs (les types d'accès à l'eau souterraine, les systèmes de production pratiqués et les modes d'accès à la terre), puis, dans un second temps, de construire une typologie représentative. Cette typologie d'exploitation agricole est essentielle compte-tenu de la difficulté de réaliser le suivi de l'ensemble des agriculteurs identifiés durant toute une campagne d'irrigation sur notre zone d'étude (4200 ha). Lorsque l'on engage avec les agriculteurs une réflexion sur les facteurs discriminants de l'utilisation des eaux souterraines, trois raisonnements sont souvent abordés : 1) un raisonnement sur les systèmes de production (le choix des cultures détermine les quantités et les périodes d'irrigation) ; 2) un raisonnement sur les types d'agriculteurs selon leur mode de faire valoir ; et 3) un raisonnement sur les types d'accès à l'eau souterraine (forage et puits). L'intégration des agriculteurs dans la réflexion sur la typologie des exploitations agricoles est utile pour confirmer des hypothèses lorsque des observations détaillées manquent. Par ces raisonnements, les agriculteurs estiment que le forage fournirait plus d'eau que le puits, l'arboriculture consommerait plus que le maraîchage, les investisseurs utiliseraient plus d'eau que les autres catégories de producteurs. Bien que notre familiarité avec le terrain permette de comprendre ces trois perceptions émanant des agriculteurs, le questionnement relatif au raisonnement qui en découle invite inéluctablement à l'analyse combinée des pratiques d'irrigation et des logiques des agriculteurs qui façonnent ces pratiques. En d'autres termes, à ce stade, la confrontation des discours ou des perceptions avec l'observation des pratiques est très importante. À plusieurs reprises, nous avons révélé des incompatibilités entre ce que l'agriculteur souhaitait faire ou considérait comme acquis (ses savoirs) et l'observation sur le terrain de ce qui a été réellement fait. Cela soulève bon nombre de facteurs qui peuvent venir influencer les pratiques de l'irrigation, comme le rendement hydraulique de l'ouvrage de pompage et l'assise financière pour mener la campagne agricole. La pratique de l'irrigation ne doit pas être examinée par la seule vision technique, mais aussi par la vision agro-économique qui s'insère par exemple dans une logique productiviste pour les locataires et de diversification pour les tributaires. Elle est aussi une pratique sociale lorsque les membres de la famille s'organisent pour gérer l'irrigation. Dans ce cas, chaque actif familial a ses propres pratiques. La pratique de l'irrigation fait partie du fonctionnement de l'exploitation agricole. Ce fonctionnement évolue d'une année sur l'autre par les changements des cultures, de superficies irriguées, et de mode de faire valoir, etc. L'analyse des trajectoires des exploitations agricoles nous permet de détecter les changements dans leurs fonctionnements comme réponses à leurs logiques agro-économiques et leurs stratégies de court ou moyen terme. Par exemple, l'accès à l'eau souterraine et/ou le passage à l'irrigation sont des moments historiques forts pour l'agriculteur et marquent souvent un tournant important dans le fonctionnement de l'exploitation agricole. C'est à partir de ces trajectoires historiques que nous pouvons lire l'évolution des logiques des agriculteurs, nous apprenons aussi ce qui permet d'expliquer les pratiques et les visions sous-jacentes à court, moyen ou long terme.

La compréhension des logiques différenciées guidant les pratiques de l'irrigation est indispensable pour comprendre les prélèvements en eaux souterraines. À titre d'exemple, un locataire qui dans une logique productiviste mise tout son capital en repoussant même les limites de ses facteurs de production explique sa pratique de sur-irrigation par son objectif d'atteindre des rendements plus élevés. Un tributaire dans une logique défensive pratique la

diversification des productions afin de minimiser le risque lié à la volatilité des prix sur les marchés d'un ou deux produits phares au niveau régional. Parfois, avec un capital suffisant, il préfère une association avec un autre agriculteur pour partager le risque. Lorsque nous avons compris toutes ces différences de logiques confirmées par les l'observation et la mesure de la pratique de l'irrigation, le facteur « type de l'agriculteur » est apparu le plus déterminant comparé aux types d'accès ou aux systèmes de production. Par exemple, il est certain que le forage a un rendement plus important que le puits, mais nous avons également observé que lorsque le puits est détenu par un locataire, les volumes prélevés sont bien plus importants que ceux prélevés à travers le forage d'un attributaire de la réforme agraire. Dès lors, notre typologie des exploitations agricoles s'est transformée en typologie des agriculteurs à cause des très fortes correspondances observées, entre d'une part le mode d'accès à la terre, et d'autres part les systèmes de production pratiqués et le type d'accès à l'eau souterraine, choisis comme facteurs discriminants de l'usage de l'eau souterraine. Dans notre zone d'étude, il suffit d'observer une parcelle où sont cultivées des céréales pour en déduire qu'elle est cultivée par un attributaire de la réforme agraire. De même, si on observe un champ d'oignon verdâtre donc bien arrosé et sur une grande superficie (5 ha ou plus) nous permet d'en déduire qu'il est probablement cultivé par un locataire. De la même manière, lorsque l'on observe un terrain nouvellement mis en arboriculture, une Villa et des clôtures, c'est la manifestation de la présence sur ces parcelles de nouveaux investisseurs d'origine urbaine. Ces observations se recoupent par ailleurs avec notre connaissance construite, car des exemples particuliers existent. L'attributaire peut aussi avoir le comportement d'un entrepreneur agricole par exemple, tout comme un locataire qui n'a pas réussi son projet à cause essentiellement de son l'échec dans l'accès à l'eau souterraine. Lire ces différentes catégories sociales, c'est donner une identité aux inégalités traitées et cela permet en outre de ne pas être piégé dans les stéréotypes de type petit/grand agriculteur ou riche/pauvre agriculteur.

Au cours de l'exercice de suivi des irrigations, des enquêtes technico-économiques ont été réalisées et c'est durant ces deux exercices que nous avons compris les logiques des agriculteurs et observé leurs pratiques. Ainsi, les hypothèses émises ont évolué et ont été affinées au cours de ces expériences. C'est de ces campagnes de terrain que nous avons démontré que contrairement aux perceptions des acteurs, les pêches ne consommeraient pas plus que l'oignon (Voir annexe 1), que la culture de l'oignon consommerait plus d'eau lorsqu'elle est pratiquée par un locataire que par un attributaire, que la superficie détenue peut être en rupture avec les volumes pompés, etc. L'étude des performances économiques des exploitations agricoles permet de comprendre pourquoi les locataires poursuivent des logiques productivistes lorsqu'ils gagnent plus et pourquoi les attributaires misent sur la diversification lorsqu'ils perdent. De la même manière, les calculs des références économiques et l'investigation sur l'origine des fonds d'investissement aident à montrer pourquoi l'arboriculture – le rêve des attributaires – est exclusivement réservée aux investisseurs qui voient dans la plantation d'arbres fruitiers un véritable plan de retraite.

Tout ce cheminement organisé par la pluridisciplinarité des sciences de l'eau a été fait dans l'objectif de déconstruire le problème de surexploitation qui suppose la distinction entre

différentes catégories sociales et la mise en lumière des inégalités d'accès, mais surtout d'utilisation qui passent souvent inaperçues. De la même manière, l'étude socioéconomique a contribué à comprendre comment les inégalités socio-économiques entre les exploitations agricoles s'aggravent et augmentent les inégalités structurelles d'accès et d'utilisation de l'eau souterraine d'une part et la surexploitation d'autre part.

### **1.5.3. Littérature sur la gouvernance des eaux souterraines pour faire le lien entre surexploitation et inégalités**

L'effet des inégalités sur la gouvernance des ressources naturelles est une question complexe, comme exposé ci-dessus. Cette relation si difficile à appréhender est perpétuellement décryptée par des modèles, la théorie des jeux et la psychologie expérimentale, mais les études empiriques appellent à la prudence sur la nature de cette relation (Baland et Platteau, 1996a). La plupart des études considèrent les ressources naturelles comme des ressources communes gérées collectivement par des communautés, mais peu d'études ont été dédiées aux ressources qui sont en libre accès total et utilisées individuellement comme les eaux souterraines. La consultation de la littérature scientifique sur la gouvernance des eaux souterraines sous l'angle des inégalités d'accès et de la surexploitation a été faite dans le but de prendre en compte les différentes expériences de gouvernance de l'eau souterraine et leurs véritables contraintes opérationnelles. Par la suite, nous avons pu confronter nos résultats empiriques à cette littérature afin de contribuer au débat sur la gouvernance. En effet, nos résultats ont été d'abord confrontés à d'autres terrains en Afrique du Nord (Biskra en Algérie et Kairouan en Tunisie), puis à la littérature internationale, en particulier sur l'Asie du Sud. D'une part, cette confrontation a été réalisée pour analyser la « construction » de la surexploitation des eaux souterraines en lien avec les inégalités structurelles et les processus de différenciation socioéconomique. D'autre part, pour fournir une méthodologie d'estimation des prélèvements en eau souterraine axée sur l'utilisateur dans l'objectif de mieux cerner les pompages.

### **1.5.4. Les démarches participatives pour préciser des buts communs face aux défis à venir**

Les démarches participatives sont à la fois un champ méthodologique et un thème de recherche permettant la révélation des problèmes communs et leur confrontation aux représentations individuelles sur l'état des lieux. Elles sont un outil de diagnostic et d'analyse des motivations et des intérêts de chacun pour mettre en débat des pratiques et logiques individuelles, mais aussi collectives. Nous avons mobilisé ces démarches lors des ateliers de diagnostic participatif et de modélisation des dynamiques agricoles. Pour cela nous avons eu recours à des jeux de rôles afin de consolider notre lecture sur les dynamiques agricoles par la contre-expertise des agriculteurs et des représentants des institutions. Contrairement aux études des dynamiques agraires par enquêtes historiques qui ne permettent que de reporter des événements à travers le témoignage des agriculteurs, le jeu de rôles permet d'observer ces dynamiques certes virtuelles, mais ne s'éloignant que peu de la réalité vécue par les agriculteurs (Daré, 2005). Lorsque l'agriculteur joue, il ne se dissocie pas de son vécu, il invite son monde réel pour le reproduire dans le monde virtuel, celui du jeu. Nous avons



conçu un jeu de rôles en prenant en compte les risques liés à l'accès à l'eau et au marché sur un ensemble d'exploitations hétérogènes en matière d'allocation en eau, en terre, et en capital (modèles inspirés de la réalité rencontrée). Les agriculteurs, en jouant, ont apprécié le réalisme du jeu et ont reproblématisé la question de la surexploitation de l'eau souterraine, qui au départ n'était pour eux qu'un problème secondaire lors des ateliers de diagnostic alors dominés par les questions de mise en marché. La prise de conscience des enjeux relatifs à l'eau a été portée par les jeunes attentifs à leur avenir en prenant prochainement la suite de leur père agriculteur. La création des associations de producteurs pour bénéficier des aides de l'État et pour s'organiser à l'aval des filières a été posée comme un moyen indirect de contrôle de l'utilisation de l'eau souterraine par le marché. Ces projections dans le monde à venir nécessitent par ailleurs des mesures d'accompagnement financier et d'encadrement organisationnel sur lesquelles nous reviendrons dans la conclusion générale.

## **1.6. Objectif de la thèse et questions de recherche**

Partant de la conclusion de Mukherji et Shah (2005) qui postulaient que « ... *global knowledge development as well as capacity building on groundwater use in agriculture has been dominated from the resource perspective; user and institutional perspectives have been neglected* », cette thèse propose de focaliser l'analyse sur l'utilisateur qui a reçu sans doute le moins d'attention dans la littérature traitant des enjeux de gouvernance des eaux souterraines (Massuel et al., 2017). Elle se focalisera sur les liens réciproques existant entre la construction de la surexploitation des ressources en eau souterraine et la reproduction des inégalités d'accès et d'usage de ces ressources. La thèse s'appuiera sur les travaux soulignant l'importance de mettre l'utilisateur au centre de l'analyse dans des processus de gouvernance des ressources naturelles (Hophmayer-Tokich et Krozer, 2008; Neal et al., 2016; Ostrom et al., 1999; Ribot, 2002). De ce fait, la thèse se donne les moyens de rendre visibles les usagers si méconnus dans toute leur diversité face aux enjeux de gouvernance des eaux souterraines.

### **1.6.1. Une réflexion sur les inégalités : comprendre le cercle vicieux qui les accentue**

La figure 1 schématise notre lecture du processus de production et de reproduction des inégalités dans une agriculture basée sur les eaux souterraines et en transition (Chapitre 2 et 3). Les inégalités foncières, comme expliquées dans la littérature, génèrent des inégalités d'accès à l'eau souterraine. L'effet combiné de ces deux formes induit de l'inégalité économique et sociale. Dans les processus de production agricole contemporains au Maghreb le facteur terre a perdu en importance une fois que les eaux souterraines ont été intégrées dans ces processus. À travers la transition de l'agriculture pluviale à l'agriculture irriguée, un processus d'intensification agricole par l'eau a lieu (figure 1). Le facteur eau prend le pas sur le facteur terre quant à la production des richesses. En effet la valeur locative d'un hectare ayant un accès à l'eau souterraine est devenue plus du double de celle d'un hectare non irrigable.

Par la suite, une fois que les processus de production impliquent davantage de capitaux (parfois issu d'un processus d'accumulation antérieur), l'agriculture irriguée a évolué vers des pratiques de plus en plus intensives. Dans ce contexte, la baisse du niveau des nappes

devient inéluctable, car elle est issue, de ces nouvelles formes d'agricultures intensives. Il faut désormais du capital financier pour créer de la richesse. Pour expliquer ce propos, nous pouvons comparer deux situations ; un investisseur sur 5 ha de terres en arboriculture irriguée a des revenus dix fois plus élevés que son voisin attributaire sur 10 hectares, dont 3 ha sont en maraîchage en association avec un fournisseur de capital, mais ce dernier consomme parfois plus d'eau que l'investisseur. Ici les quantités de terre et d'eau ne sont pas en accord avec les profits générés. Ceux de l'investisseur sont beaucoup plus importants que ceux de son voisin attributaire. La réponse se trouve dans l'importance du capital investi dans le processus de production.

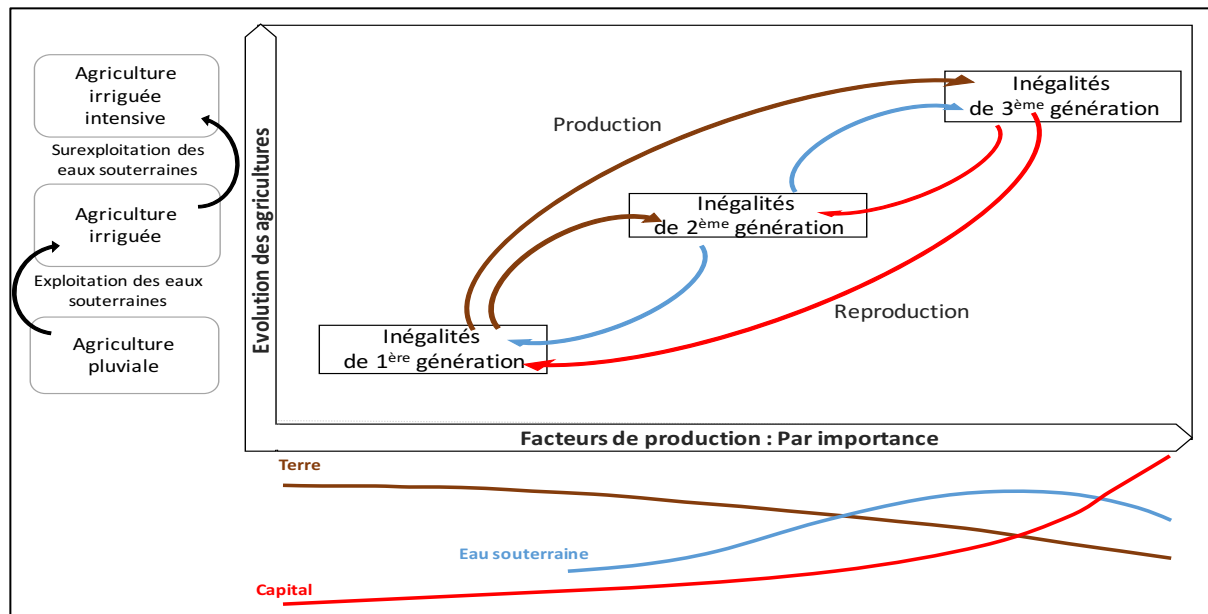


Figure 1. Évolution des agricultures et la (re)production des inégalités

Bien souvent, le traitement de la question des inégalités d'accès aux eaux souterraines est simpliste, s'appuyant seulement sur l'opposition entre ceux qui ont accès à l'eau souterraine et ceux qui n'en ont pas. Nous considérons bien évidemment cette opposition d'ordre physique liée à l'objet en soi (forage ou puits), mais il y a aussi un second domaine d'inégalités entre ceux ayant tous accès à l'eau souterraine. Celui-ci est la résultante des capacités économiques distinctes des agriculteurs en premier lieu et des rendements hydrauliques différenciés entre le forage captant la nappe captive abondante et le puits captant la nappe phréatique où le risque d'épuisement de la nappe est élevé. Dans notre zone d'étude dans le Saïss, le large éventail en matière d'inégalités économiques peut se comprendre d'abord entre les exploitations agricoles ayant accès à l'eau souterraine pour de petites parcelles irriguées à travers des puits seulement et celles irriguant l'ensemble de leur parcellaire à travers des forages. De ce fait, les inégalités foncières ne peuvent que partiellement expliquer les inégalités économiques résultantes. Par ailleurs, dans une situation de "Groundwater Economy" atomisée et informelle, il est très difficile de mesurer ces inégalités économiques entre exploitations et de les expliquer selon leurs origines. En effet, cette hétérogénéité est aussi dynamique du fait des rapides évolutions des exploitations agricoles. Cela renvoie à

l'étude des inégalités initiales existantes en matière d'accès aux facteurs de production et l'évolution de leur importance comme facteurs de différenciation socioéconomique entre exploitations agricoles. Il ne s'agit pas d'un simple exercice statistique pour déterminer l'influence que peut exercer un facteur sur un autre, ou pour déterminer quelle inégalité d'accès à un facteur explique le plus les résultats économiques différenciés. Un tel exercice peut paraître compliqué, lorsque dans une même situation de disponibilité de facteurs de production, les différences dans les logiques et pratiques font que chacun n'a pas les mêmes résultats économiques. De plus, la désynchronisation de toute une saison, entre inégalités d'entrée de campagne et de sortie de campagne, donne la possibilité à d'autres facteurs d'être pris en compte. Par exemple, le marché peut être précocement favorable et pousser à rechercher la maturité des productions. Il peut également obliger à différer la vente, dans le cas contraire, mais sans aucune garantie de vendre plus cher. On peut avoir sur une terre de 15 ha, un accès sécurisé à l'eau au début de la saison de production vous incitant à négocier un financement informel, mais il est possible également de tout perdre, car la sécurité hydraulique a été mise en péril en fin de saison, ou parce que l'associé ou les fournisseurs d'intrants (sous forme de crédits) ont « pris le pouvoir » et ont obligé l'agriculteur à vendre précocement parfois à perte. La "Groundwater Economy" dans le Saïss est devenue un véritable *jeu de casino* selon les dires des agriculteurs. « *Il faut prendre beaucoup de risques pour gagner et parfois peu pour tout perdre* ». Il y a donc des comportements offensifs, surtout par ceux en situation de sécurité financière, et des comportements défensifs faits d'adaptations pour innover dans des stratégies de diversification.

### **1.6.2. La réforme agraire : de la poursuite d'une justice à des inégalités tolérées**

Au Maroc, et particulièrement sur la plaine du Saïss, les programmes de réforme agraire ont promu dans certaines communes des structures de production collectives, sous l'hypothèse que l'équité est dans la non-propriété. Ce type de réforme a été critiqué pour sa faible efficacité économique et a été progressivement abandonné. L'équité entre attributaires initiaux a été réexaminée dès les années 1990 à travers la distribution équitable des terres entre les différents attributaires rassemblés au sein d'une coopérative dite « de la réforme agraire ». L'État ne s'est pas entièrement retiré de l'arène de la production, mais le pouvoir décisionnel de gestion des terres de ces coopératives lui est resté de droit. Les attributaires avaient donc une jouissance précaire des terres qui leur étaient confiées (droit d'usufruit transmissible toutefois). Malgré cette sécurité foncière ils ne pouvaient tirer un revenu conséquent de ces terres cultivées en sec et soumis aux aléas climatiques. Ils se sont réfugiés dans l'agriculture de subsistance pour subvenir en premier lieu aux besoins de base de leurs familles. Dès lors, l'accès à l'eau souterraine était perçu comme un facteur permettant l'émancipation individuelle à l'intérieur d'une organisation collective (coopérative). Surgissent ainsi des stratégies imbriquées ; des stratégies de production individuelles à l'intérieur des stratégies collectives. Par l'irrigation, les inégalités commencent à se manifester à l'intérieur d'un système collectif conçu au départ dans les règles de l'équité, et le comportement individuel devient la règle. La dernière évolution de la réforme agraire est celle de la libéralisation du foncier en 2006 octroyant le droit de propriété aux attributaires, créant ainsi un marché foncier intense. Ainsi des investisseurs purent acheter les terres des

attributaires devenus propriétaires fonciers, c'est aussi le cas des locataires qui accèdent à ces terres, et par leur pouvoir basé sur le capital ils accèdent aussi à la pleine jouissance pour exploiter intensivement les soles.

Le parcours difficile d'une justice sociale qui a cherché à construire ses bases sur un capital foncier étatique par l'attribution équitable des terres a donc été remplacé par un modèle favorisant la performance économique. Les premières inégalités qui ont émergé de l'utilisation des eaux souterraines à partir des puits n'étaient pas très importantes, car issues de la différenciation des trajectoires des attributaires eux-mêmes. Cet usage avait peu d'impacts environnementaux, car seule la nappe phréatique était mobilisée. L'utilisation des eaux souterraines par les puits a permis de créer des richesses pour les plus démunis, et ceux qui n'avaient pas accès à l'eau souterraine ont pu valoriser des opportunités du travail généré par l'irrigation, l'intensification et la spécialisation agricole. En effet, l'accès à l'eau souterraine a engendré le retour des jeunes sur l'exploitation de leur père et l'État a accompagné ces dynamiques par l'octroi de crédits pour financer le passage à l'irrigué. La deuxième transition (des puits vers des forages) a entraîné davantage de transformations. Les opportunités de travail créées sont *a priori* nombreuses ces dernières années, mais le facteur capital financier a pris beaucoup d'importance avec l'intensification de l'agriculture, accompagnée par l'installation de forages profonds beaucoup plus coûteux que les puits. Les attributaires de la réforme agraire sont les plus désavantagés dans ces dynamiques. Leurs terres se trouvent dévalorisées, leur sécurité d'accès à l'eau souterraine mise en péril (puits à sec), et leurs situations économiques en décalage avec les dynamiques agraires émergentes, dont les bénéfices économiques sont accaparés par les nouveaux arrivants. Toutes ces formes d'inégalités et les interactions entre elles sont liées au problème de déclin des eaux souterraines, produisant des phénomènes de dépossession et de marginalisation des acteurs les plus précaires.

L'objectif de la thèse est donc d'explorer le cercle vicieux entre la construction de la surexploitation et la (re)production des inégalités d'accès et d'usage des eaux souterraines. La question centrale à laquelle la thèse va répondre est :

***Comment la construction de la surexploitation et la reproduction des inégalités d'accès et d'usage des eaux souterraines se renforcent mutuellement ?***

Afin de traiter cette question centrale, la thèse propose les quatre sous-questions dont les réponses sont présentées dans les quatre chapitres qui vont suivre.

- *Comment mesurer la contribution différenciée de différentes catégories sociales d'agriculteurs à la surexploitation des nappes ?*
- *Quelles sont les interactions existantes entre la (re)production des inégalités et la surexploitation des eaux souterraines ?*
- *Comment la surexploitation a transformé la "Groundwater Economy" et les trajectoires des différents types d'exploitations agricoles, générant des exclusions sociale et économique ?*
- *Comment animer un débat sur les questions d'inégalité et de surexploitation des eaux souterraines avec les différents acteurs ?*

## 1.7. Organisation de la thèse

Le cœur de la thèse se présente sous la forme de quatre articles scientifiques, qui seront exposés dans les chapitres suivants (figure 2). Dans chaque chapitre, nous apporterons les éléments de réponses aux sous-questions de recherche posées. Ces quatre chapitres sont précédés par cette introduction générale et suivis par une conclusion générale.

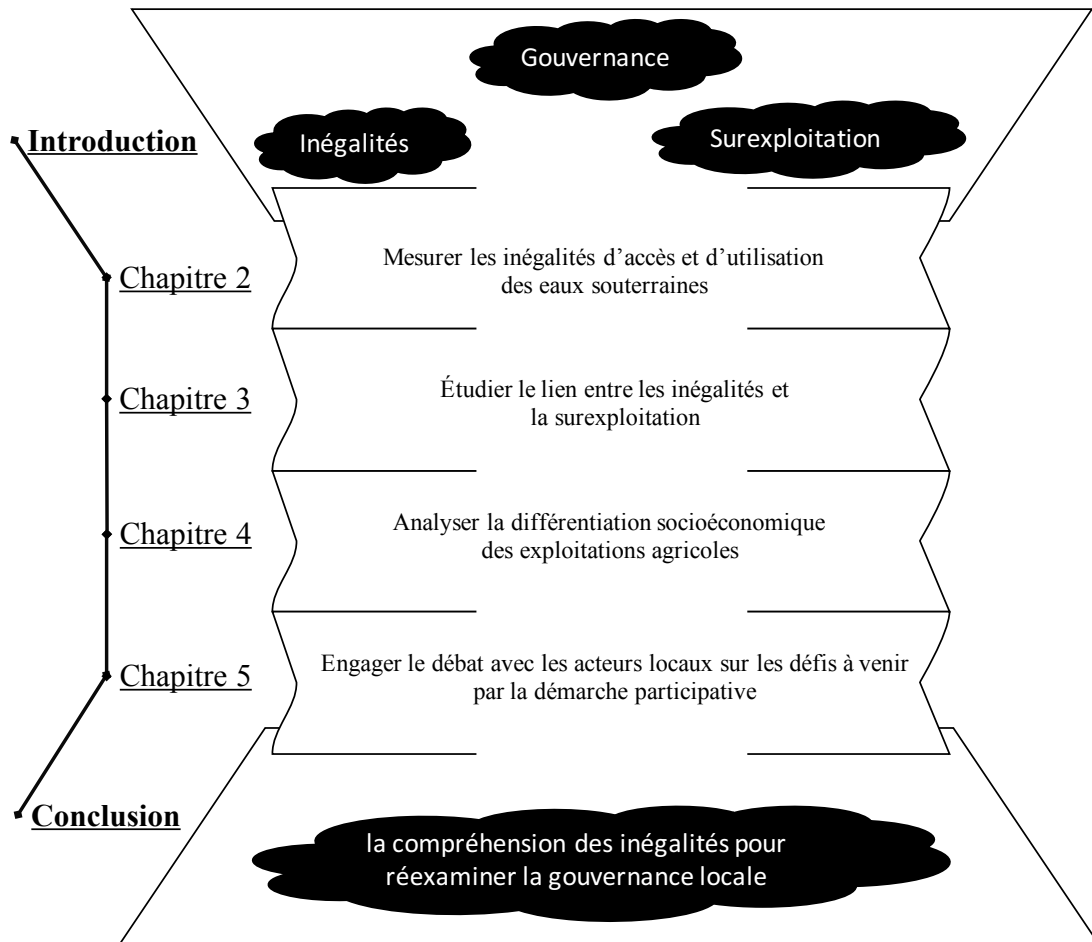


Figure 2. Organisation générale de la thèse

Dans le **chapitre 2**, nous exposons une méthodologie d'estimation des prélèvements des eaux souterraines. Du fait de la difficulté à rendre opérationnelles les méthodes indirectes d'estimation de ces prélèvements dans un contexte de développement atomistique des eaux souterraines, nous adoptons la mesure directe. Nous développons puis comparons dans ce chapitre quatre méthodes d'estimation et d'extrapolation des prélèvements en eau souterraine agricole, tout en faisant la distinction entre usages et usagers. La principale contribution de ce travail méthodologique réside dans l'identification et l'attribution de ces prélèvements en eaux souterraines aux différents types d'agriculteurs. En faisant la part des choses, le discours de la surexploitation imputé à tout le secteur agricole est ainsi décomposé pour les différentes catégories sociales. Nous montrons à travers ce chapitre que ce discours « décomposé » est un élément important pour concevoir tout plan de gestion des eaux souterraines.

Dans le **chapitre 3**, nous examinons la relation entre les inégalités d'accès et d'utilisation de la ressource d'une part et le problème de la baisse du niveau des eaux souterraines d'autre part. Nous cherchons à appréhender comment la baisse des niveaux piézométriques des nappes exacerbe – et est exacerbée par – les inégalités existantes. Par une approche comparative, notre terrain d'étude d'Iqaddar a été confronté avec celui de Ouarizane dans le Bas Chélif en Algérie. Cette analyse comparative montre que malgré les différences dans les politiques de développement agricole sur ces deux terrains, les processus de différenciation socio-économique entre exploitations agricoles sont souvent les mêmes. Cette différenciation est l'expression de la dynamique des inégalités. La compréhension socio-économique de l'utilisation des eaux souterraines nous a permis donc d'analyser les motivations et intérêts des différentes catégories sociales d'agriculteurs à adhérer ou non à la gestion de la ressource.

Le **chapitre 4** est consacré à l'étude des destins contrastés des agriculteurs dans la "Groundwater Economy" tant convoitée. En fonction de l'accès différencié à d'autres ressources comme la terre et le capital, ce chapitre propose d'étudier comment l'accès aux eaux souterraines a modifié les parcours des différents agriculteurs et la trajectoire de leur exploitation. Les estimations de l'utilisation de l'eau souterraine présentées dans le deuxième chapitre et l'analyse de l'évolution de l'accès à l'eau souterraine exposée dans le troisième chapitre nous ont permis ici de retracer les diverses tendances de l'utilisation des eaux souterraines entre les différentes catégories d'agriculteurs. Ces tendances historiques ont été par la suite affinées avec l'évolution des résultats économiques des exploitations dans la "Groundwater Economy". Entre les trois facteurs de production fondamentaux de l'agriculture intensive, à savoir la terre, l'eau et le capital financier, nous avons montré le déplacement de la prééminence des facteurs de production qui était dans le passé la possession de la terre, puis l'accès à l'eau souterraine et pour terminer le capital financier.

Compte tenu des éléments exposés dans les chapitres précédents, et du retour de nos expériences de terrains, le **chapitre 5** traite de la construction d'outils pour une mise en débat de la question de surexploitation en lien avec les inégalités. Cette démarche participative invite les agriculteurs à s'entendre sur ce qui fait défaut dans leur agriculture, sur la pluralité des difficultés rencontrées et sur ce qu'ils souhaitent faire pour en limiter les conséquences négatives. Afin d'observer les évolutions possibles d'une agriculture, intensive en intrants, en capital et en irrigation, nous avons imaginé un monde virtuel où les agriculteurs jouent leurs destins. En participant à un jeu de rôles que nous avons conçu, les agriculteurs sont amenés à repenser la question de l'eau et à la rendre centrale dans les discours à venir. Cette démarche conçue pour être inclusive a permis aux jeunes agriculteurs (fils d'attributaires) de construire des revendications et de façonner leurs désirs pour négocier des solutions avec les acteurs institutionnels du secteur agricole et de l'eau. Leur esprit entrepreneurial couplé à leur ancrage territorial sécurisant la succession ne constitue-t-il pas des atouts pour le renouvellement du monde rural et son évolution ? N'est-il pas pertinent de reconnaître leur statut de jeunes repreneurs (futurs chefs d'exploitation) et d'accompagner leurs ambitions d'engagement dans des actions collectives ? N'est-ce pas une piste intéressante pour l'accompagnement de la réflexion et de l'action collectives ?

Dans le dernier **chapitre 6**, la conclusion générale reviendra sur la question centrale de la thèse. Nous montrons ainsi en quoi la compréhension des inégalités peut aider à réexaminer la réflexion sur ce que pourrait être un modèle de gouvernance des eaux souterraines en respect avec le développement rural.

---

---

## **Chapitre 2.**

**Méthodes d'estimation et d'extrapolation des  
pompages des eaux souterraines par  
l'intégration des pratiques locales : cas de la  
plaine du Saïss au Maroc**

---

---



## Chapitre 2. Méthodes d'estimation et d'extrapolation des pompages des eaux souterraines par l'intégration des pratiques locales : cas de la plaine du Saïss au Maroc

Ce chapitre a été publié sous forme d'article dans la revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires :

Ameur, F., Kuper, M., Hammani, A., 2017. Méthodes d'estimation et d'extrapolation des pompages des eaux souterraines par l'intégration des pratiques locales : Cas de la plaine du Saïss au Maroc. Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires 5(1), 52–63.

Les résultats de cette étude ont paru dans un autre article comparatif sur les méthodes de prélèvement des eaux souterraines au Maroc, en Algérie et en Tunisie :

Massuel, S., Amichi, F., Ameur, F., Calvez, R., Jenhaoui, Z., Bouarfa, S., Kuper, M., Habaieb, H., Hartani, H., Hammani, A., 2017. Considering groundwater use to improve the assessment of groundwater pumping for irrigation in North Africa. Hydrogeol. J. doi:10.1007/s10040-017-1573-5

Alors que la connaissance sur les dynamiques des aquifères sous influence anthropique a été enrichie au cours des dernières décennies, il est aussi important de comprendre les usages et les comportements des utilisateurs : « ...*deciding when and how to regulate has to be done in the knowledge of users behavior* » (Burke et al., 1999). Les prélèvements des eaux souterraines pour usage agricole de par le monde sont mal connus et compris (Oki et Kanae, 2006). La difficulté à saisir l'ampleur de ces pompages provient de la nature atomistique de l'utilisation des eaux souterraines engagée par des millions d'agriculteurs, de la forte dynamique des installations de puits et forages, et de la diversité des pratiques d'irrigation, elles-mêmes dépendantes de nombreux facteurs (logiques des agriculteurs, climat, sol, marché, etc.) (Massuel et al., 2017). Plusieurs méthodes indirectes ont été développées pour contourner ce problème de manque d'information sur les pompages, comme l'analyse des images satellitaires pour estimer les besoins en eau des cultures (Castaño et al., 2010). Cependant, ces mesures indirectes offrent souvent une seule lecture grossière sur les prélèvements des eaux souterraines et n'identifient pas les usagers pompant l'eau souterraine pour différents usages. De surcroît, ces méthodes qualifiées de non-contact ne permettent pas d'envisager des mesures opérationnelles pour gérer les ressources lorsque ni les usages ni les usagers ne sont distingués.

Dans ce chapitre nous engageons une réflexion sur une méthode « de contact » pour déterminer, mais surtout expliquer les prélèvements en eau souterraine à l'échelle d'une petite région dans le Saïss au Maroc. L'importance de ce type de mesure directe ne tient pas seulement du fait de sa précision, mais aussi de sa plus-value en matière de connaissances des attributs à la fois socioéconomiques et biophysique pour bien évaluer les prélèvements en eau souterraine en distinguant les usages et les usagers. Ces méthodes sont coûteuses et chronophages, mais une combinaison de celles-ci avec des méthodes indirectes est possible pour produire des connaissances sur l'utilisation de l'eau souterraine à plus grande échelle (Maréchal et al., 2006; Woldt et Bogardi, 1992).

L'importance des attributs socioéconomiques pour expliquer le développement atomistique et l'utilisation des eaux souterraines exige une nouvelle réflexion sur la gestion des eaux souterraines qui est amenée à étudier et mieux prendre en compte le comportement des usagers de l'eau souterraine (Mitchell et al., 2012). Ce chapitre constitue le début de la réflexion sur l'importance du « user perspective » pour l'analyse de la gouvernance des eaux souterraines (cf introduction générale). Les sciences de l'eau étendent aujourd'hui la connaissance sur la ressource par une vision plus large lorsqu'elle s'intéresse également à l'utilisateur de l'eau souterraine pour étudier son comportement par rapport à la ressource, par exemple à travers ses pratiques d'irrigation. C'est en analysant la diversité de pratiques et logiques des usagers que les références locales d'irrigation peuvent être construites avec plus de précision d'une part, et que les dynamiques d'évolution des prélèvements en eau souterraine peuvent être appréhendées. Ce chapitre présente une méthodologie adaptée pour bien cerner les usages et usagers et met l'accent sur l'importance de la mesure en contact avec les agriculteurs. Ces méthodes nous permettent d'expliquer les fortes disparités d'usages entre différents usagers. En identifiant les inégalités d'accès et d'utilisation des eaux souterraines entre différentes catégories sociales d'agriculteurs, ce chapitre propose de réexaminer le débat dominé par un discours globalisant de surexploitation des eaux souterraines.

# Méthodes d'estimation et d'extrapolation des pompages des eaux souterraines par l'intégration des pratiques locales : Cas de la plaine du Saïss au Maroc

F. Ameer<sup>1,2</sup>, M. Kuper<sup>1,2</sup>, A. Hammani<sup>1</sup>

1. Département 'Eau, infrastructure, environnement', IAV Hassan II, Rabat, Maroc
2. Cirad/Umr G-Eau, Montpellier, France

## Résumé

Dans le Saïss, le développement de l'irrigation par les eaux souterraines a permis la transformation des systèmes de production, en particulier l'extension de l'arboriculture et du maraîchage, et la production de richesses. Cependant, ces transformations ne concernent qu'une minorité d'agriculteurs en mesure d'accéder et d'exploiter l'eau souterraine. Ce développement agricole rapide a contribué à la construction d'inégalités sociales et économiques, mais aussi à la baisse des niveaux des aquifères. Puisque les prélèvements réels par l'agriculture ne sont pas étudiés, il est difficile de déterminer la part des différents types d'agricultures responsables des prélèvements et d'identifier des leviers pour remédier à la surexploitation. L'objectif de l'article est de développer et comparer quatre méthodes d'estimation et d'extrapolation des prélèvements en eau souterraine agricoles en faisant la distinction entre usages et usagers. La zone d'étude concerne 4.200 ha dans la province d'El Hajeb. Nos observations montrent que les inégalités d'exploitation des eaux souterraines sont d'abord fonction des inégalités d'accès à la terre, car 0,5% de grands investisseurs contribuent pour 27 % à l'utilisation des eaux souterraines, sur 33% de la SAU totale. À l'inverse, les attributaires de la réforme agraire (26 % de la SAU) ne contribuent que pour 14 % à la surexploitation. Les locataires, conduisant un maraîchage intensif, sont responsables pour 33% des prélèvements agricoles sur 11% de la SAU. Nous avons évalué la pertinence des différentes méthodes d'extrapolation des prélèvements agricoles, en fonction des objectifs et de l'ampleur du travail de terrain nécessaire pour obtenir les données. Il est important de rendre visibles les inégalités des prélèvements agricoles, pour décomposer la question de surexploitation. Préciser les contributions des uns et des autres à la surexploitation, permettra de renforcer la pertinence des plans de gestion des eaux souterraines.

**Mots clés** : Eaux souterraines, surexploitation, inégalités, irrigation, estimation des pompages, Maroc.

## Abstract

In the Saïss plain, the access to groundwater enabled the rapid transformation of farming systems (extension of arboriculture and horticulture) and the production of wealth. However, these changes affect only a minority of farmers who are able to access and use groundwater. This rapid agricultural development has contributed to the creation of social and economic inequalities, but also to a decline of groundwater tables. The actual groundwater abstractions for agriculture are not monitored and it is difficult to determine the share of different types of

farming systems and farmers responsible for the groundwater withdrawals and identify the levers to control groundwater overexploitation. The aim of the paper is to develop and compare four methods to estimate and extrapolate agricultural groundwater withdrawals, distinguishing between uses and users. Our observations show that in the study area (4200 ha in Saïss, located in the province of El Hajeb), the groundwater inequalities are primarily a function of unequal access to land, because 0.5% of the farmers (who are large investors) contribute to 27% of the groundwater use, on 33% of the total surface area. Conversely, the beneficiaries of the agrarian reform (26% of the area) account for only 14% of the overexploitation. But the land inequality is not always the cause of inequality of groundwater use, since lessees, practicing intensive horticulture, are responsible for 33% of the groundwater use on only 11% of the surface area. We evaluated the appropriateness of different methods of extrapolation of agricultural groundwater use, based on the objectives and the effort required to obtain the necessary data. It is important to make visible inequalities in groundwater use, to analyze the overexploitation issue and enhance the effectiveness of the control of the groundwater use.

**Key words:** Groundwater, overexploitation, inequalities, irrigation, estimation of pumping, extrapolation, Morocco.

## 2.1. Introduction

À la différence de l'utilisation des eaux de surface, les eaux souterraines sont par excellence des ressources de proximité, les plus commodes et les plus individuelles (Margat, 2008). Le recours à ces ressources en eau souterraine, essentiellement dans les zones semi-arides, a été fréquemment encouragé par les États en octroyant des subventions (Llamas et Martínez-Santos, 2005). Cela a conduit par la suite à des situations parfois qualifiées « d'anarchique » avec la reprise de l'initiative d'irrigation par les agriculteurs à travers des millions de forages souvent illicites de par le monde (Shah, 2010). Ces dynamiques sont souvent analysées à travers deux prismes principaux. D'une part, beaucoup d'études ont montré le boom économique généré par l'utilisation des eaux souterraines, accompagnée d'une intensification de l'agriculture. Par ailleurs, l'accès à ces ressources a contribué à la régression de la pauvreté (Moench, 2003). D'autre part, l'exploitation intensive de l'eau souterraine a entraîné la surexploitation de nombreux aquifères. Par exemple, il est estimé qu'au Maghreb plus de 50% des nappes sont en surexploitation (Kuper et al., 2016). En outre, des études récentes montrent que l'exploitation des eaux souterraines entraîne souvent une forte différenciation socio-économique, expliquée par des inégalités d'accès à l'eau souterraine (Amichi et al., 2012; Kuper et al., 2012). La baisse des niveaux des nappes accroît les coûts d'accès et d'extraction des eaux souterraines, et amplifie la différenciation socioéconomique, résultant de l'approfondissement compétitif des puits pouvant entraîner une exclusion progressive des usagers de l'eau (Janakarajan, 1999), et par conséquent une augmentation de la pauvreté de la petite agriculture (Janakarajan et Moench, 2006).

Le secteur agricole est souvent désigné comme le consommateur le plus important de l'eau. Selon le plan bleu (2006), la consommation agricole représente plus de 80 % de la demande totale dans les pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée. L'agriculture est également devenue un très grand consommateur de l'eau souterraine avec l'augmentation rapide du nombre de puits et forages. Au Maroc, il est estimé qu'aujourd'hui 42% des superficies irriguées dépendent en totalité ou en partie de l'eau souterraine (Kuper et al., 2016). Cependant, les prélèvements en eau souterraine par les agriculteurs restent encore mal connus et estimés avec beaucoup d'incertitudes (Margat, 2008). Ces prélèvements sont souvent estimés par des méthodes indirectes, basées sur la télédétection pour identifier les aires irriguées et déterminer l'évapotranspiration, ou sur les estimations des besoins théoriques des plantes (Aahd et al., 2009; Castaño et al., 2010; Famiglietti et al., 2011; Wada et al., 2012, 2010). Ces méthodes restent muettes sur l'emplacement des points de captage (Wada et al., 2010). En outre, les pompages sans restriction et sans surveillance rendent plus complexes les tentatives pour estimer les taux de prélèvement (Famiglietti et al., 2011). C'est probablement à cause de la difficulté d'étudier les interférences humaines dans les dynamiques des aquifères (pompages, retour par excès d'irrigation en lien avec les pratiques d'irrigation) que peu d'études se basent sur l'observation de prélèvements réels (Wang et Cai, 2009). Le manque d'observations sur les prélèvements réels des eaux souterraines laisse de grandes questions sur la contribution de chaque catégorie d'acteur et de chaque système de production à la baisse des nappes. En plus des considérations d'ordre environnemental liées à la surexploitation des aquifères, une « bonne » gouvernance des eaux souterraines implique une

connaissance des spécificités d'usagers à l'échelle locale pour que l'utilisation de ces ressources soit non seulement durable, mais aussi et surtout équitable. Afin d'assurer l'équilibre entre l'environnemental et le social et de pourvoir le bien-être de la population rurale pour qui la dimension économique de l'eau souterraine reste fondamentale.

Au Maroc où le terme «surexploitation» est largement mobilisé par les autorités publiques et les scientifiques, les politiques de gestion des ressources en eau sont essentiellement basées sur un système d'autorisations de forages et sur les incitations aux usagers pour adopter des techniques d'irrigation économes en eau (Benouniche et al., 2014; Fofack et al., 2015). Le manque de connaissances des dynamiques de terrain, à savoir la prolifération rapide des ouvrages de pompage, les pratiques d'irrigation très diversifiées, ou encore l'économie d'eau réelle obtenue par l'irrigation au goutte-à-goutte, peuvent rendre les estimations basées sur les données théoriques utopiques. Par ailleurs, ces estimations sont souvent destinées pour définir des stratégies agricoles et de l'eau, et il est donc important d'analyser le bien-fondé de ces estimations. Une étude récente de scénarios d'évolution de la demande en eau d'irrigation dans le Saïss, anticipait ainsi une nette contribution à l'atténuation de la pression exercée sur les nappes, que devrait apporter la reconversion en irrigation au goutte-à-goutte (Er-Rabbani et al., 2008). En réalité, la technique du goutte-à-goutte peut entraîner une extension des superficies irriguées et une intensification agricole provoquant une augmentation de la demande en eau. L'objectif de cet article est de développer et comparer quatre différentes méthodes d'estimation des prélèvements en eau souterraine, construites sur des observations des pratiques locales. Il s'agit de mieux comprendre et résoudre les complexités de l'exercice de quantification des prélèvements en eau souterraine, et de proposer de distinguer entre usages et usagers, pour concevoir une gouvernance ouverte et inspirée des faits réels.

## **2.2. Méthodologie**

### **2.2.1. La zone d'étude**

L'étude a été menée sur une petite zone du Saïss d'une superficie de 4.200 ha, faisant partie de la province d'El Hajeb. L'accès à la terre et à l'eau souterraine sont caractérisés par des inégalités historiquement construites. Deux entreprises agricoles en Partenariat Public Privé appartiennent à de grands investisseurs marocains, qui détiennent 33 % de la SAU totale étudiée, pratiquant une agriculture destinée au marché national et international. S'ils ne détiennent que 18 sur les 240 ouvrages de pompage fonctionnels recensés, leurs forages sont réalisés par des foreuses à hélice et les débits peuvent dépasser les 100 m<sup>3</sup>/h. Les terres des attributaires de la réforme agraire, et les terres de melkistes (terres acquises par les droits de succession) couvrent 67 % de la superficie de la zone d'étude. Un tiers de ces terres a été acheté par des acheteurs développant progressivement l'arboriculture (Tableau 1). Cette dynamique d'achat des terres de la réforme agraire a démarré en 2008, après le décret de la main levée (2005) et avec l'avènement du Plan Maroc Vert en 2008. Ces acteurs captent facilement des subventions pour les plantations arboricoles, l'achat de machines agricoles, équipement en goutte à goutte et l'accès aux eaux souterraines. 86/240 ouvrages de pompage leur appartiennent dans la zone d'étude. Les locataires détenant seulement 16 % de la SAU des terres de la réforme agraire et terres Melk, affichent la densité d'installation d'ouvrages

de pompage la plus importante : 12 ouvrages sur 100 ha pour un total de 56 ouvrages. Quant aux attributaires et melkistes, ils occupaient à l'origine 2 117 ha et 725 ha respectivement. À présent, ils n'occupent que 1 088 et 308 ha respectivement (tableau 1), à cause du phénomène d'achat et de location des terres par les nouveaux arrivants. L'accès à l'eau souterraine pour les attributaires est basé essentiellement sur des puits (48 puits et 24 forages), et sur 7 forages pour les melkistes.

*Tableau 1. Systèmes de culture pratiqués par type d'acteur (2013-2014)*

| Acteurs                       | Grands investisseurs          | Acheteurs | Attributaires | Locataires | Melkistes |     |
|-------------------------------|-------------------------------|-----------|---------------|------------|-----------|-----|
| <b>Superficie totale (Ha)</b> | 1375                          | 981       | 1088          | 466        | 308       |     |
| <b>Système de culture</b>     | <b>Arboriculture</b>          | 97%       | 36%           | 3%         | 2%        | 6%  |
|                               | <b>Maraîchage</b>             | 0%        | 8%            | 18%        | 62%       | 7%  |
|                               | <b>Cultures industrielles</b> | 0%        | 0%            | 0,2%       | 1%        | 1%  |
|                               | <b>Légumineuses</b>           | 0%        | 4%            | 6%         | 2%        | 3%  |
|                               | <b>Fourrages</b>              | 0%        | 8%            | 17%        | 9%        | 19% |
|                               | <b>Céréaliculture</b>         | 0%        | 27%           | 42%        | 19%       | 31% |
|                               | <b>Jachère</b>                | 3%        | 17%           | 13%        | 4%        | 33% |

L'exploitation de la plupart des puits et forages est basée sur l'énergie thermique, en particulier les ouvrages des attributaires. Face à la baisse des niveaux statiques des nappes, les irrigants commencent à avoir des problèmes d'exhaure avec cette source d'énergie. Les acheteurs ont les moyens pour l'installation de l'électricité agricole (non subventionnée) afin de dépasser ce problème et continuer à pomper.

### **2.2.2. Approche méthodologique**

Nous avons d'abord élaboré une typologie sur un ensemble de 377 exploitations agricoles à l'intérieur de la zone d'étude, selon une grille d'analyse portant sur le type d'accès à l'eau souterraine, le type d'acteur impliqué (grand investisseur, locataire, acheteur, attributaire et melkiste) et les systèmes de production pratiqués. Il en ressort que 54 % des agriculteurs sur 27 % de la SAU totale n'ont pas accès à l'eau souterraine. Ce sont essentiellement des attributaires, et quelques acheteurs récemment installés qui n'ont pas encore eu le temps de réaliser un accès aux eaux souterraines. Dans un deuxième temps, nous avons effectué un suivi des pratiques d'irrigation sur un échantillon de 20 exploitations agricoles durant la campagne agricole de 2013-2014 afin de construire des références locales pour le pompage et pour l'irrigation.

Sur ces 20 exploitations, nous avons réalisé deux types de mesures (figure 3), la mesure des débits et l'estimation des durées journalières d'irrigation. Pour les débits du pompage, nous avons utilisé un débitmètre de type «Ultrason P» ainsi que les relevés des compteurs d'eau lorsque l'agriculteur en dispose. Selon la méthode développée par Massuel et al. (2009), les durées journalières d'irrigations ont été indirectement estimées par les enregistreurs de températures dont nous avons relevé les données avec une fréquence moyenne de 15 jours. Cela nous a permis de faire au fur et à mesure l'analyse des volumes horaires journaliers d'irrigation. Des enquêtes ont été réalisées pour comprendre les logiques des agriculteurs dans le pilotage de l'irrigation. Ces enquêtes sont essentielles dans le cas où l'ouvrage de

pompage concernait l'irrigation de plusieurs cultures, ce qui nous permet de rapporter la durée d'irrigation de l'échelle de l'ouvrage du pompage à celle de la parcelle.

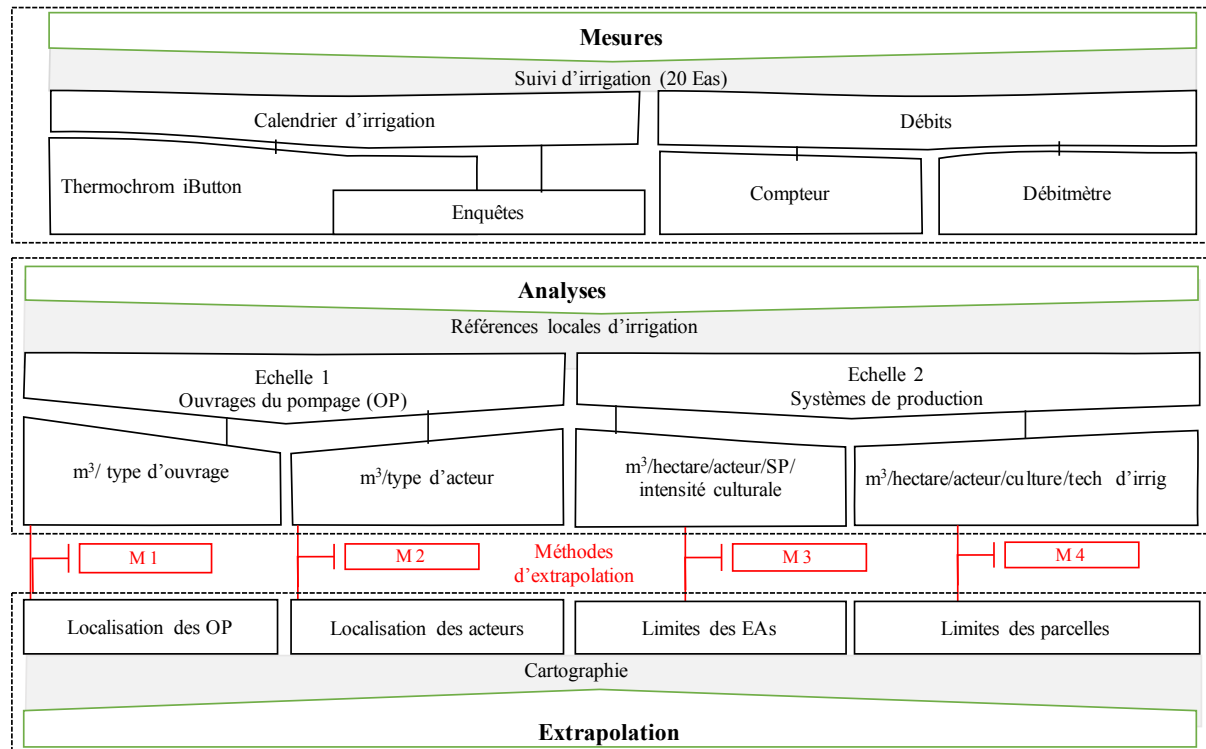


Figure 3. Schéma directeur de l'approche mobilisée

Le suivi effectué sur les 20 exploitations agricoles a abouti à la construction des références locales en irrigation, ces références ont été calculées par quatre méthodes empruntant deux entrées distinctes (figure 3) :

**Par les ouvrages de captage :**

1. Par le calcul du volume moyen extrait pour chaque type d'ouvrage de pompage ;
2. Par le calcul du volume moyen extrait pour chaque ouvrage par type d'agriculteur. Cela permet de préciser les contributions aux prélèvements de chaque type d'agriculteur.

**Par les systèmes de culture :**

3. Par le calcul du volume moyen d'eau apportée par exploitation agricole sur la base de la SAU irriguée par exploitation agricole, sous forme d'indice d'intensité culturale ; le type d'agriculteur détermine la valeur de l'indice ;
4. Par le calcul du volume moyen d'eau apportée par culture et par type d'agriculteur, en distinguant entre techniques d'irrigation.

Nous avons développé et appliqué quatre méthodes d'extrapolation pour déterminer les prélèvements agricoles à l'échelle de la zone d'étude (figure 3). Une fois les références locales construites, l'extrapolation a consisté à chercher l'information nécessaire sur toute la zone d'étude. Premièrement, il s'agit de la localisation des différents types d'ouvrages de captage fonctionnels, appartenant à différents types d'agriculteurs. Deuxièmement, il fallait



cartographier les limites des exploitations agricoles tout en identifiant le profil des différents agriculteurs, puis leurs plans parcellaires (assolements, rotations et techniques d'irrigation). Ce changement d'échelle d'analyse est fait dans le but d'étudier les contributions de chaque catégorie d'agriculteur à la surexploitation des eaux souterraines, ainsi que d'étudier l'opérationnalité des différentes méthodes d'extrapolation.

## **2.3. Résultats**

### **2.3.1. Déterminer des références locales par un suivi de l'irrigation détaillé de 20 exploitations agricoles**

Pour établir les références locales des volumes d'eau apportés nous avons : 1) caractérisé les ouvrages de pompage, 2) mesuré les débits des puits et forages, 3) caractérisé les pratiques d'irrigation des différents systèmes de culture appartenant à différents types d'agriculteurs.

#### ***Connaissances des ouvrages de pompage : deux nappes et deux types d'ouvrages de captage***

Le puits traditionnel est un ouvrage captant exclusivement la nappe phréatique dont la piézométrie varie entre 20 et 35 m, actuellement dans la zone d'étude. Cela est souvent vu comme avantageux par rapport à la technique du forage (captant essentiellement la nappe profonde du Lias d'une piézométrie autour du 110 m), car on économise plus de 50 % en coûts du pompage. Les risques de panne des motopompes, liés à la profondeur de captage, sont aussi moins importants par rapport aux forages. Cependant, le rendement des puits est faible par rapport aux forages. Le débit de pompage dans un puits est toujours supérieur à celui de sa réalimentation, comme on peut le constater par la baisse continue des niveaux d'eau dans le puits au moment du pompage. Il est donc nécessaire de mettre au repos l'ouvrage pour le laisser se recharger. Cette contrainte limite le rendement ou la durée totale du fonctionnement de l'ouvrage. L'agriculteur est contraint de réduire la surface irriguée, et a tendance à moduler l'accélération du moteur pour ne pas provoquer la vidange du puits, qui risquerait de causer des dommages matériels à la motopompe. En quelque sorte, ce sont des essais de pompage pratiqués par les agriculteurs eux-mêmes. Lorsque le niveau d'eau atteint la crépine du captage, la pompe se désamorçe et tourne à vide ce qui emballe le moteur. Cela peut produire des dommages importants, comme les cassures d'arbres verticaux qui ne sont pas souhaitées en pleine campagne d'irrigation. Toutes ces contraintes rendent le comportement des irrigants adaptatif, cherchant à développer des pratiques d'irrigation adaptées aux conditions de la ressource, mais rendent la mesure des débits ainsi que la détermination des durées d'irrigation très compliquées.

Contrairement au rendement faible des puits, les forages sont des ouvrages captant dans la plupart des cas les deux nappes, puisant directement dans la nappe du Lias et se rechargeant aussi horizontalement à partir de la nappe phréatique, via de simples perforations du tubage en acier du forage, conçues dans le but de permettre la drainance de la nappe phréatique. Le risque qu'un rabattement excessif se produise est faible ; ces ouvrages peuvent fonctionner 24 sur 24 heures. « Lac souterrain ou oued souterrain », sont les appellations communément données par les agriculteurs et foreurs pour la nappe captive, des appellations qui font

référence à son abondance et à sa mouvance horizontale. Les foreurs schématisent cette nappe comme une sorte d'oueds souterrains qui coulent dans le sens SE-NO. Une fois atteint, il devient difficile d'aller encore en profondeur dans certains endroits. En effet cela empêche le marteau de la fourreuse (*el fas*) de frapper dans le sens vertical. Cela provoque généralement des problèmes d'inclinaison lors du forage, et il devient impossible de procéder au pompage avec une pompe à axe vertical. Pour anticiper ces contraintes, ce sont les foreuses à hélice qui sont les plus adaptées pour de telles situations, dont l'utilisation est en théorie interdite.

### ***Mesure des débits de pompage : une variabilité des débits des ouvrages de captage***

La réduction de la superficie irriguée et le régime maîtrisé du moteur pour éviter le désamorçage sont les adaptations pratiquées pour pallier aux contraintes caractérisant les puits. Cela explique une dispersion faible des débits du pompage autour d'une moyenne relativement peu élevée de 18,5 m<sup>3</sup>/h (figure 4). Ce qui nous renseigne aussi sur l'homogénéité de la distribution spatiale des paramètres hydrodynamiques de l'aquifère, et le fait que les préleveurs sont logés à la même enseigne. La différence se fait sur les pratiques. En effet pour irriguer de faibles superficies, les attributaires préfèrent attribuer un faible régime aux moteurs (faible débit) pour anticiper les pannes au niveau de la motopompe dont les réparations coûtent chères.

En revanche, pour les forages, la variation des débits trouve son explication par les pratiques des irrigants, couplées à leurs capacités financières à assurer de grands débits de pompage, comme l'investissement dans l'achat d'un moteur puissant par exemple, et pouvoir l'utiliser à son régime maximal en assurant des coûts de pompage plus importants. Le débit de pompage est bien corrélé avec le volume appliqué à l'hectare donc aussi avec le coût de pompage à l'hectare. C'est ce qui explique une moyenne de débit calculée de 11,6 m<sup>3</sup>/h pour les attributaires, et de 25,2 m<sup>3</sup>/h pour les nouveaux arrivants (acheteurs et locataires). Les pratiques d'irrigation des attributaires, même après avoir réussi à atteindre la nappe captive, n'ont pas évolué, pompant toujours avec de faibles débits.

Par ailleurs, la variabilité de débit peut aussi concerner un même ouvrage de captage, ce qui présente une source d'incertitude méthodologique importante. Sur les forages équipés par des compteurs d'eau, nous avons pu observer puis calculer des valeurs moyennes de débit. La correction s'est faite par l'estimation d'un débit de référence, en calculant le rapport du volume total pompé (lecture début d'irrigation – lecture fin d'irrigation) sur le volume horaire total d'irrigation estimé par les enregistreurs de température. Ces variations s'expliquent par les dissimilitudes en matière de pratiques d'irrigation. En effet sur un même ouvrage de pompage nous pouvons avoir différents intervenants dans l'irrigation. Les différents actifs familiaux ou les différents gérants sur les exploitations d'investisseurs et locataires peuvent ne pas avoir les mêmes pratiques d'irrigation. Cela commence par le démarrage de la motopompe et le choix du régime du moteur qui peut ne pas être le même pour les différents intervenants. Dans le cas de l'utilisation du gaz à butane comme source d'énergie thermique, lorsqu'il se dilate il provoque de brusques accélérations du moteur donc de l'augmentation du débit. Les risques concernent la pompe qui reçoit les vibrations du moteur, ce qui peut causer

les cassures d'arbres verticaux et les roulements de la tête de la pompe, d'une part et d'autre part le débranchement des gaines à cause de l'augmentation de la pression dans le réseau goutte à goutte. Les variations peuvent aussi être fonction des lois hydrodynamiques, comme pour la variation de la hauteur manométrique totale (HMT) qui fait varier le débit de la pompe à régime constant lors de l'irrigation, surtout dans le cas des puits.

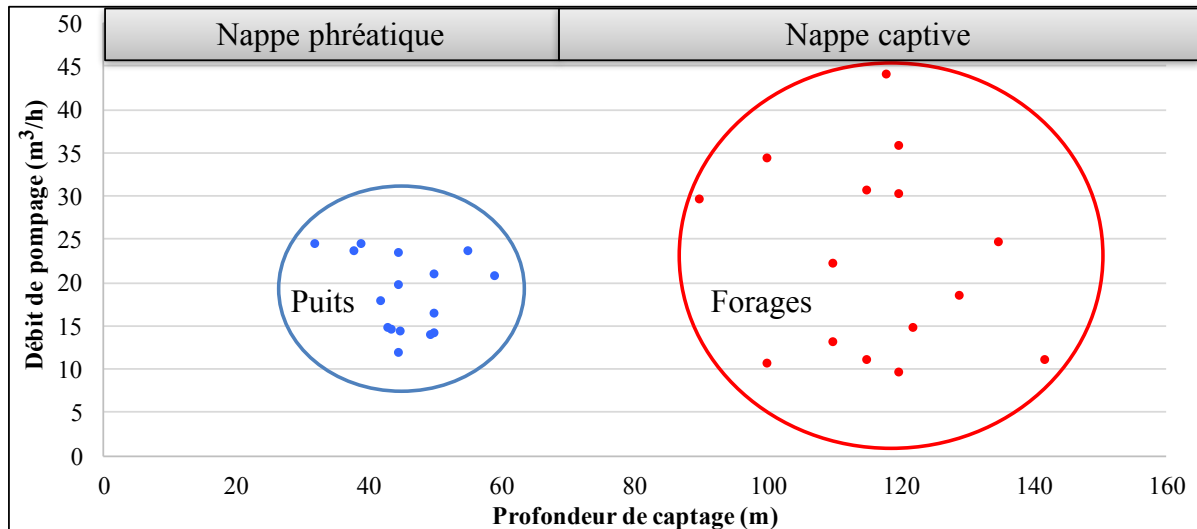


Figure 4. Débits de pompage de référence pour deux types d'ouvrage captant deux types de nappes

Nos résultats montrent qu'il n'existe pas de linéarité entre les débits de pompage et les caractéristiques techniques et physiques des ouvrages du pompage à cause de l'intervention humaine dans le débit, en lien avec leurs différentes pratiques d'irrigation. Cela implique qu'il est très difficile d'établir des corrélations entre les paramètres techniques de la motopompe et les paramètres hydrauliques de l'ouvrage du pompage, d'une part et le débit d'autre part, rendant l'exercice d'extrapolation des débits illusoire sur cette base.

La figure 4 montre une faible dispersion des débits des puits et une grande dispersion pour les forages. Tous les ouvrages de captage utilisant l'énergie thermique (gaz à butane ou gasoil), sont dotés de moteurs de voitures recyclés (Renault 25, essentiellement), donnant la possibilité à l'irrigant de paramétrer le débit de pompage en intervenant sur l'accélération du moteur. Cette faculté leur permet d'obtenir la pression souhaitée dans le cas des installations d'irrigation au goutte-à-goutte. Les quartiers hydrauliques d'une installation goutte à goutte peuvent être individuellement remaniés pour ne pas mettre en sur- ou sous-pression les installations, ce qui risquerait d'affecter l'uniformité de l'irrigation. Ce type de détails n'échappe pas aux usagers qui possèdent souvent une parfaite connaissance de leurs puits ou forages.

#### **Estimation des volumes horaires du pompage**

Le volume horaire du pompage pour un puits ou forage a été indirectement estimé, en fixant des enregistreurs de température «Thermochron iButton» sur la conduite de l'ouvrage de pompage. Ces appareils fournissent des informations sur l'évolution des températures des objets selon un pas de temps paramétrable, typiquement de l'ordre de 10-15 minutes

(Massuel et al., 2009). Quand le puits ou forage ne marche pas, l'évolution de la température de la conduite a catégoriquement la même allure que la température ambiante. Mais lorsque l'agriculteur démarre l'irrigation, de brusques changements d'évolution de température sont enregistrés (figure 5) pour se stabiliser autour d'une température proche de celle de l'eau pompée traversant la conduite sur laquelle les appareils sont installés. La perte de cette stabilité signifie l'arrêt de l'irrigation et l'allure d'évolution regagne sa forme sinusoïdale de la température ambiante. L'analyse - au fur et à mesure - des durées de pompage tout en connaissant les conditions physiques environnant chaque appareil (l'ombre des objets à proximité et les précipitations provoquant aussi de brusques variations de températures enregistrées) nous a permis de distinguer ces variations de celles qui nous intéressent, causées par les irrigations. Cela a posé problème au début de notre suivi, mais en développant la connaissance de l'allure de l'évolution de température de chaque appareil et la pratique d'irrigation de chaque acteur, l'exercice devient une routine.

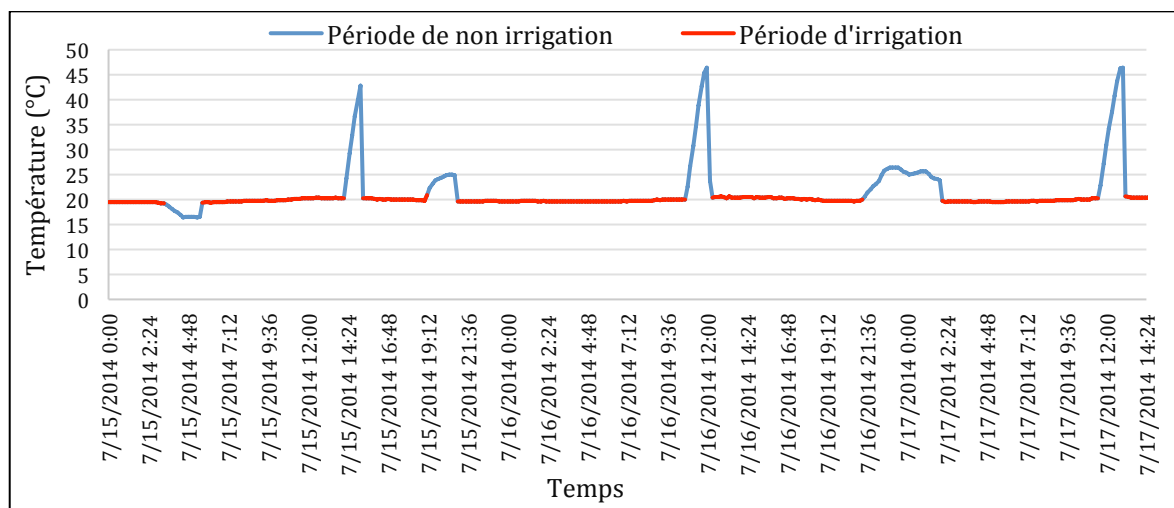


Figure 5. Exemple de déduction du temps d'irrigation par les enregistreurs de température

Dans le cas où l'irrigation concernait plus d'une culture, il fallait comprendre comment l'agriculteur planifie son irrigation pour différentes cultures. Il s'agit tout d'abord de schématiser avec l'agriculteur son installation goutte à goutte pour savoir combien de quartiers hydrauliques existent pour chaque culture, pour ensuite réaliser des enquêtes tous les 15 jours, pour savoir attribuer les périodes d'irrigation déduites pour les différentes cultures.

Selon les enquêtes et calculs obtenus par le suivi, quatre heures d'irrigation par secteur est la durée la plus utilisée à l'échelle de la parcelle (de 0,2 à 0,4 ha) pour les cultures maraîchères. Dans le cas des cultures arboricoles, la durée évolue de une heure par secteur d'un hectare généralement au début de la campagne d'irrigation, mais atteint 4 heures par secteur pendant les mois de pointe (juillet et août). Nous avons même pu identifier des anomalies au niveau de la durée du tour d'eau, qui nous ont été expliquées par le fait d'un doublement de la fréquence d'irrigation pour un secteur en stress hydrique par exemple avant d'appliquer de nouveau une autre irrigation. Certes, cette méthode d'estimation des durées d'irrigation est ardue, mais elle demeure à présent la meilleure pour l'estimation de la demande réelle en eau

d'irrigation à l'échelle de la parcelle.

### ***Les références locales d'irrigation***

Dans le tableau 2, nous présentons les principales références locales calculées pour les différentes méthodes à partir des mesures, observations et enquêtes présentées précédemment.

*Tableau 2. Synthèse des références locales d'irrigation (2013-2014)*

| <b>Références locales</b>                       |                        |                        |                        |               |           |
|---|------------------------|------------------------|------------------------|---------------|-----------|
| Type d'ouvrage                                  | Puits                  |                        |                        | Forage        |           |
| Volume pompé (m3 an-1)                          | 17300                  |                        |                        | 39800         |           |
| Type d'agriculteur                              | 2 Grands Investisseurs | Acheteurs              | Locataires             | Attributaires | Melkistes |
| Volume pompé/acteur/ouvrage (m3 an-1)           | 125900 et 160700       | 20800                  | 65700                  | 22500         | 22500     |
| Type d'agriculteur                              | 2 Grands Investisseurs | Acheteurs              | Locataires             | Attributaires | Melkistes |
| Volume pompé (m3 ha-1 an-1)                     | 5450 et 1530           | 5150                   | 8500                   | 5790          | 5790      |
| Taux d'intensification culturale en irrigué (%) | 74 et 91               | 89                     | 107                    | 41            | 41        |
| Type d'agriculteur                              | Culture                | Technique d'irrigation | Volume irrigué (m3/ha) |               |           |
| 2 Grands investisseurs                          | Abricotiers            | GàG                    | 5040                   |               |           |
|   | Jububiers              | GàG                    | 5860                   |               |           |
|   | Nectarines + Pêchers   | GàG                    | 5490                   |               |           |
|   | Pruniers               | GàG                    | 5410                   |               |           |
|   | Vignes de cuve         | GàG                    | 1530                   |               |           |
| Acheteurs                                       | Nectarines + Pêchers   | GàG                    | 5930                   |               |           |
|   | Raisins de table       | GàG                    | 5930                   |               |           |
|   | Pommiers               | GàG                    | 7600                   |               |           |
| Locataires                                      | Oignon d'été           | GàG                    | 12040                  |               |           |
|   | Semence d'oignon       | GàG                    | 1600                   |               |           |
|   | Pépinière d'oignon     | GàG                    | 4120                   |               |           |
|   | Pomme de terre         | GàG                    | 7290                   |               |           |
|   | Ail                    | Grav                   | 2250                   |               |           |
| Attributaires                                   | Oliviers               | Grav                   | 3360                   |               |           |
|   | Oignon d'été           | GàG                    | 6550                   |               |           |
|   | Oignon d'hiver         | GàG                    | 2250                   |               |           |
|   | Pépinière d'oignon     | GàG                    | 3260                   |               |           |
|   | Pomme de terre d'hiver | GàG                    | 2380                   |               |           |
|   | Haricot sec            | GàG                    | 2750                   |               |           |
|   | Oignon d'été           | Grav                   | 6490                   |               |           |
| Melkistes                                       | Tabac                  | Grav                   | 4320                   |               |           |
|   | Luzerne                | Grav                   | 3110                   |               |           |
|   | Maïs fourrager         | GàG                    | 4020                   |               |           |

Les résultats obtenus confirment les prélèvements plus importants du forage par rapport au

puits (Tableau 2). Cela explique le recours de plus en plus massif à la nappe captive par la technique du forage ces dix dernières années, lorsque l'accès par les puits devient difficile. Les prélèvements d'un forage sont plus que le double : 39 800 m<sup>3</sup>/an pour un forage contre 17 300 m<sup>3</sup>/an pour un puits. Le volume prélevé est significativement corrélé (coefficient de corrélation : 0,88) avec la superficie irriguée (0,5 à 7 ha). Mais si la superficie irriguée est plus importante comme c'est le cas des grands investisseurs, un seul forage peut extraire jusqu'à 160700 m<sup>3</sup>/an. Cela montre que la normalisation des prélèvements par ouvrage de pompage est à prendre avec soins si la distinction entre les utilisateurs de ces ouvrages n'est pas prise en considération. À titre d'exemple, un locataire pratiquant du maraîchage pompe environ un volume annuel de 65 700 m<sup>3</sup> avec un seul ouvrage de captage, alors que ce volume annuel est de 22 500 m<sup>3</sup> seulement pour un attributaire pratiquant la même culture, ou encore 20 800 m<sup>3</sup> pour un acheteur pratiquant l'arboriculture. Ces différences sont liées aux stratégies de production des différents agriculteurs. Par exemple, un locataire finançant le creusement d'un forage d'un coût variant de 100 000 à 150 000 Dh, ne l'utilisera que pendant la période du bail. L'exploitation de son forage sera intensive, afin d'obtenir des rendements élevés, et une production de bonne qualité pour la culture d'oignon afin de pouvoir différer la vente en moyennant le stockage traditionnel sur de longues durées. Concrètement, les stratégies intensives des locataires expliquent leur application d'un volume de 12040 m<sup>3</sup>/ha pour la culture d'oignon d'été irriguée au goutte à goutte, ce qui rend l'économie d'eau affichée pour le goutte à goutte une fiction.

L'intensité culturale à l'échelle de l'exploitation agricole est un autre facteur expliquant les inégalités d'utilisation des eaux souterraines, et renforce notre choix méthodologique d'analyse des stratégies de production développées par les différents types d'agriculteurs. Les attributaires ou les melkistes ont une logique de diversification agricole; environ 40 % de l'exploitation agricole est réellement irriguée tandis que le reste est conduit en pluvial. A contrario, les acheteurs arboriculteurs irriguent 89 % de l'exploitation agricole. Cet indice dépasse les 100 % quand l'agriculteur cultive plus d'une culture irriguée sur une exploitation par an, ce qui est le cas pour les locataires.

### **2.3.2. Construction méthodologique de l'extrapolation des références locales**

Comme nous le schématisons dans la figure 6, l'établissement puis l'extrapolation des références locales sont fait selon l'information disponible sur toute la zone d'étude. Nous comparons quatre méthodes.

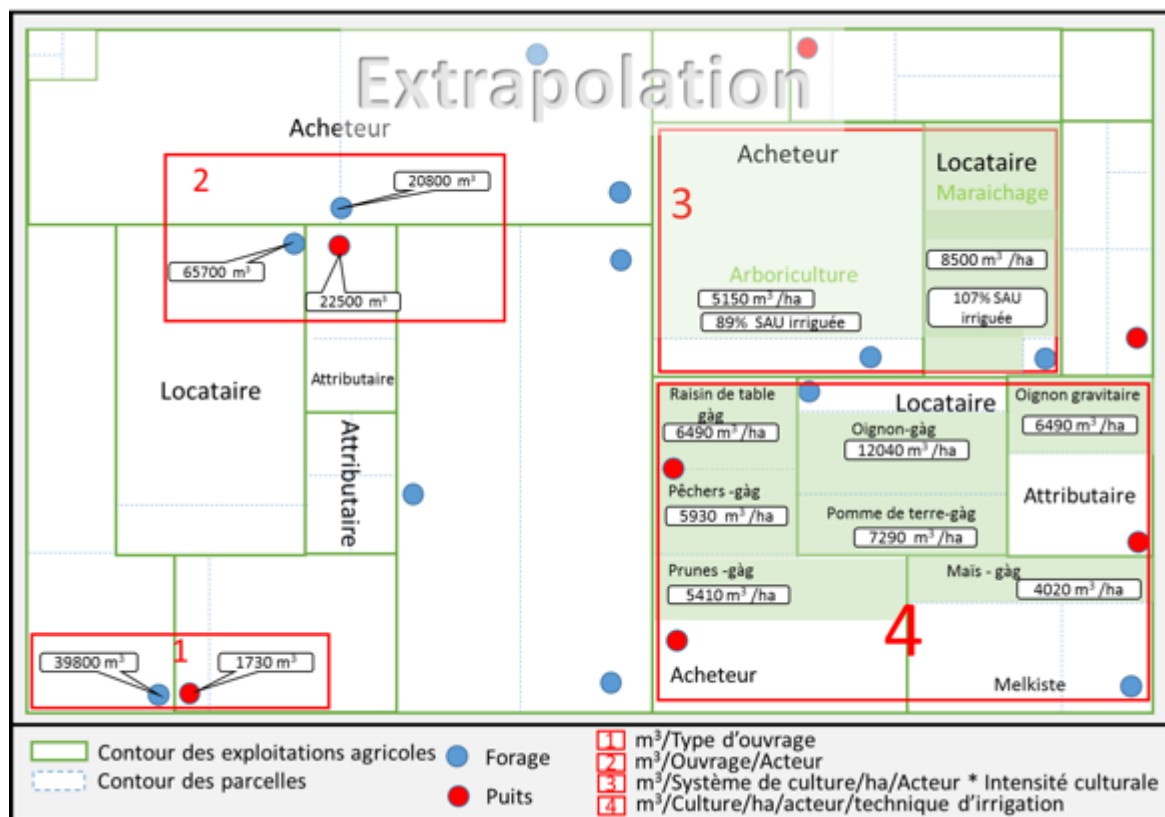


Figure 6. Les quatre méthodes d'extrapolation des références locales

**L'extrapolation par type d'ouvrages de captage** (Méthode 1) représente la méthode la plus facile à conduire, car elle est basée seulement sur un inventaire des puits et forages (figure 6). Elle ne demande pas beaucoup d'efforts de collecte de données, mais elle ne permet pas de faire la part des choses entre les stations de pompage des différents types d'agriculteurs impliqués dans l'utilisation des eaux souterraines. Mais elle peut être intéressante pour des situations où l'on observe les mêmes systèmes de culture ou les mêmes types d'exploitations. Il s'agit donc ici de développer une valeur moyenne extrapolable à l'échelle des ouvrages suivis, l'unité serait le débit annuel par type ouvrage de pompage, qui intéresse beaucoup les études traitant la part de l'irrigation dans les bilans hydriques. Cependant, le nombre de puits et forages change rapidement et les ouvrages de captage ne sont pas tous fonctionnels d'une année à une autre. Il est difficile de maintenir une base de données actualisée; en 2014, par exemple sur notre zone d'étude, 20 forages ont été nouvellement installés, tandis que 31 anciens ouvrages de pompages n'ont pas servi à l'irrigation.

**L'extrapolation par ouvrages de captage de différents types d'agriculteurs** (Méthode 2) affine la précédente méthode en y intégrant le type d'acteur. L'utilisation d'un forage (et donc les volumes pompés) dépend fortement de la logique de l'agriculteur. En outre, cette méthode permet d'étudier la contribution différenciée des différents types d'agriculteurs impliqués dans l'exploitation des eaux souterraines, et donc de préciser leurs contributions spécifiques aux prélèvements globaux. Cette méthode demande un travail d'enquête au préalable pour distinguer entre les différents types d'agriculteurs. Il s'agit à notre sens de la plus importante contribution de ce travail à améliorer les estimations des pompages d'eaux

souterraines à l'échelle régionale. Si elle nous a permis de quantifier les inégalités d'accès et d'usage, beaucoup d'incertitudes demeurent à l'échelle de l'exploitation agricole (superficie irriguée, systèmes de culture) ce qui influence l'usage des ouvrages de pompage. Une autre observation très importante est relative à la fonctionnalité de l'ouvrage. Dans notre cas, nous avons localisé 430 ouvrages de pompage, mais seulement 240 ont fonctionné durant la campagne agricole de 2013-2014. Un grand nombre de puits (113 sur 237) ne sont plus fonctionnels à cause de la baisse de la nappe phréatique. L'étude de l'évolution de l'accès aux eaux souterraines ne se limite pas à cumuler le nombre de réalisations, mais aussi à soustraire les ouvrages qui ne sont plus opérationnels. D'autres agriculteurs même avec un accès à l'eau souterraine n'arrivent pas à faire de l'agriculture irriguée suite à des problèmes financiers ou de conflits au sein des familles. Certains nouveaux forages ne sont pas encore équipés en motopompes. Dans ce contexte, les cartes de localisation des points de captage (seulement ceux déclarés), dont disposent les pouvoirs publics et souvent non actualisées, sont une source d'incertitude à prendre avec précaution.

***L'extrapolation par intensité culturale de différents types d'agriculteurs*** (Méthode 3) consiste à multiplier les volumes pompés à l'hectare (références locales) par le produit de la SAU de chaque exploitation et l'intensité culturale irriguée moyenne pour les différents types d'agriculteurs. En utilisant les systèmes d'informations géographiques, nous avons obtenu la SAU de chaque exploitation agricole sur l'ensemble de la zone d'étude, tout en déterminant quelles exploitations agricoles avaient un accès fonctionnel à l'eau souterraine et de quels types d'agriculteurs il s'agissait. Dans cette méthode, deux informations sont extrapolées à partir des références locales: le taux d'intensification culturale en irrigué qui est le rapport entre la superficie irriguée et la superficie totale de chaque type d'exploitation agricole suivie se trouvant à l'intérieur de notre zone d'étude, et le volume pompé à l'hectare. Il n'est pas aisé de construire une typologie de l'ensemble des exploitations agricoles en y intégrant les différents comportements tactiques des irrigants, puisqu'il nécessite un travail d'enquêtes très poussé. Nous avons développé cette méthode, car nous avons observé sur le terrain une grande variabilité du taux d'intensification culturale en irrigué sur les exploitations agricoles appartenant à différents types d'agriculteurs (Tableau 2).

***L'extrapolation par assolements et pratiques d'irrigation*** (Méthode 4) requiert un nombre important d'informations. Sur 3 exploitations disposant des compteurs d'eau fonctionnels, nous avons mesuré les prélèvements puis nous les avons comparés avec les 4 méthodes développées. Le rapport entre le volume prélevé estimé par chaque méthode avec ce qui est réellement pompé indique que la méthode 4 est la moins biaisée avec un rapport de 0,99 (1,10 pour la méthode 1 ; 1,11 pour la méthode 2 et 0,87 pour la méthode 3). Elle nous servira de méthode de référence pour comparer les valeurs obtenues par les trois méthodes précédentes. Toutes les informations concernant l'accès à l'eau souterraine, type d'acteur, technique d'irrigation et type de culture, comme illustrées dans la figure 7, sont croisées et analysées pour développer un référentiel du volume d'eau appliqué à l'échelle de la parcelle. Un travail d'enquêtes est nécessaire pour convertir le volume total pompé à l'échelle de l'exploitation agricole à celle de la parcelle.

Ce travail consiste à enquêter pendant chaque passage sur l'exploitation (chaque 10 à 15



jours) sur le tour et la fréquence de l'irrigation pour chaque culture irriguée. Ce type d'enquêtes est d'autant plus ardu lorsque plusieurs cultures sont pratiquées au sein des exploitations. Nous avons complété quelques valeurs manquantes puisque quelques cultures irriguées ne figuraient pas dans les références locales de notre échantillon de 20 exploitations. Il s'agit surtout des cultures d'hiver (pépinière d'oignon, oignon d'hiver, pomme de terre d'hiver). À l'échelle de la zone d'étude, nous avons ensuite identifié les assolements (et rotations) de toutes les exploitations agricoles, par un travail important de cartographie qui a consisté à la digitalisation de plus 1700 polygones (ou parcelles) en utilisant des images satellitaires actualisées (période de suivi) fournies par le logiciel Google Earth, mais en se basant aussi sur l'observation de terrain afin d'attribuer les informations nécessaires pour chaque polygone. Ce travail nous a permis d'identifier des parcelles irriguées à l'intérieur des contours d'exploitations sans accès à l'eau souterraine. Il s'agit surtout de la pratique courante d'échange à l'amiable des parcelles, entre locataires avec accès à l'eau souterraine et attributaires sans cet accès, et des transferts d'eau d'une manière moins répandue. Il est donc crucial de coupler l'observation avec l'analyse cartographique afin de repérer et corriger les anomalies lors de la superposition des couches de données. Sous arcGIS, 4 couches de données essentielles ont été superposées pour permettre l'extrapolation (Figure 7).

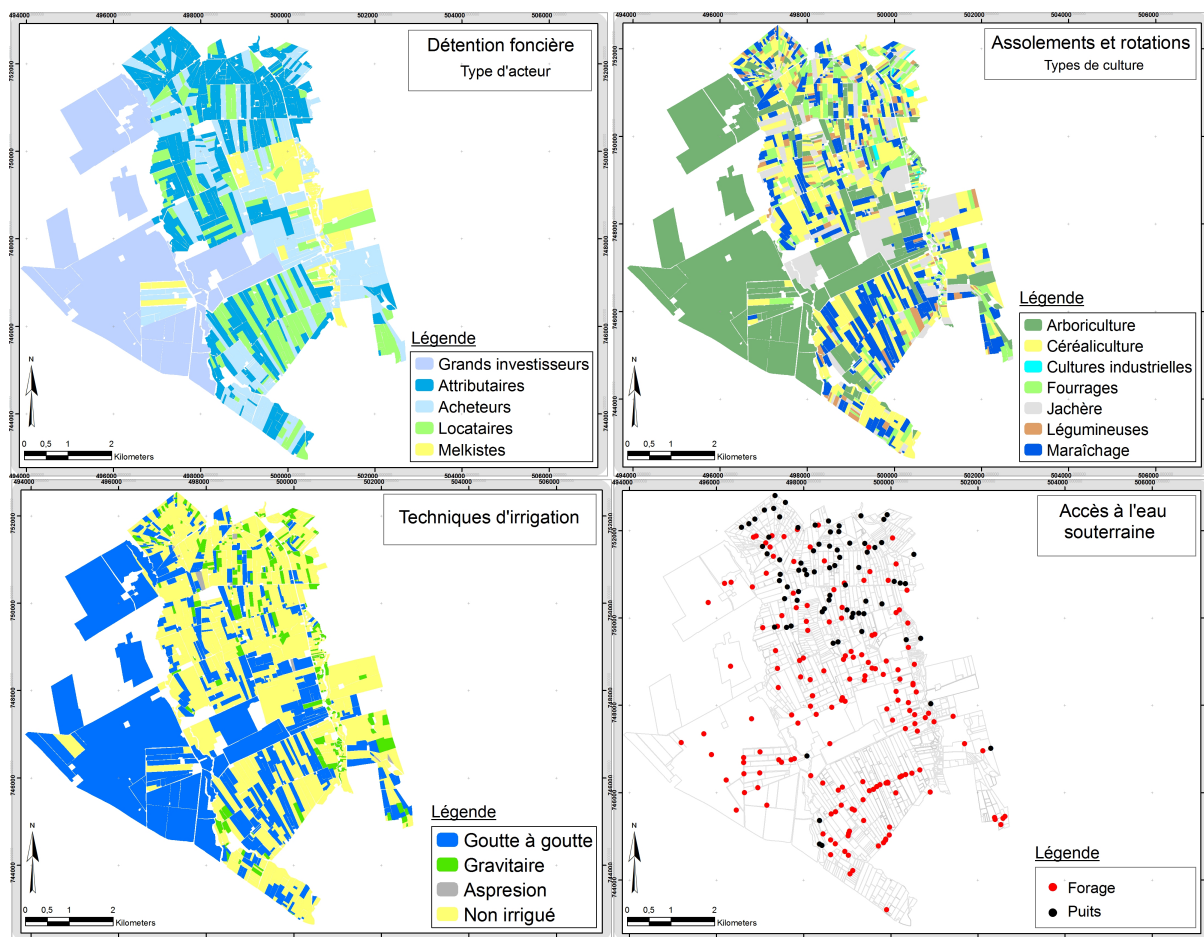


Figure 7. Superposition de couches de données traitées sous arcGIS (2014)

### 2.3.3. Comparaison des résultats obtenus par des méthodes simplifiées avec la méthode de référence d'extrapolation par assolement

Les résultats obtenus par les différentes méthodes (de 1 à 4) sont présentés dans la figure 8. Nous considérons comme référence la méthode d'extrapolation par assolement et rotation (Méthode 4) pour conduire notre comparaison.

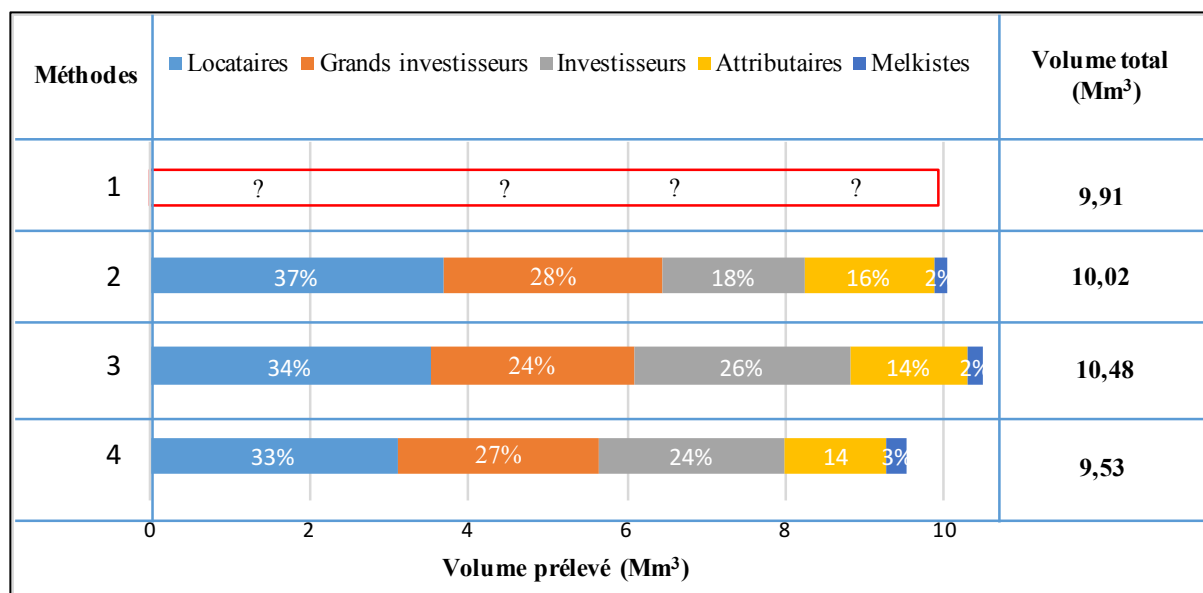


Figure 8. Résultats de différentes méthodes d'extrapolation

En ce qui concerne la valeur des prélèvements totaux à l'échelle régionale, la méthode 1, même si elle est très simplifiée, semble la plus proche de la valeur de référence avec une erreur de surestimation de l'ordre de 4 % (9,91 par rapport à 9,53 Mm<sup>3</sup>/an). Dans ce type d'extrapolation, plus la taille de l'échantillon est grande, plus les moyennes calculées sont représentatives et moins le résultat final est erroné. L'inconvénient de cette méthode globalisante est qu'elle ne distingue pas les contributions des différentes parties prenantes de l'exploitation des eaux souterraines. Elle peut être adoptée pour mieux cerner la composante 'prélèvements agricoles' dans un bilan hydrique plus global des aquifères, mais les résultats sont beaucoup moins intéressants pour agir dans un objectif de gouvernance. Ni les usagers et ni les systèmes de culture responsables des prélèvements ne sont identifiés. En cas de faible diversité des systèmes de culture (zone de monoculture), mais en présence d'inégalités d'accès aux eaux souterraines, la méthode 1 peut être améliorée par une étude des différentes contributions des usagers dans l'exploitation des eaux souterraines et donc identifier les préleveurs. La réponse à la question « à qui appartient les ouvrages de pompage ? » représente un levier très important pour l'amélioration des plans de gestion des eaux souterraines.

Les résultats de la méthode 2 montrent une légère surestimation de 5 % par rapport à la précédente méthode et que l'on peut expliquer par la construction des moyennes sur des groupes plus restreints (moyenne des volumes pompés pour chaque type d'agriculteurs). La comparaison de la contribution des différents types d'acteurs à la surexploitation, par rapport

à la méthode de référence, montre un même sens: les locataires en première position et les melkistes en dernière (figure 8). Un autre enseignement est la confirmation de l'importance numérique de la constitution de l'échantillon des ouvrages de pompage. La différence du volume pompé entre les deux méthodes est la plus importante pour les acheteurs (18 % par rapport à 24 %). C'est la catégorie pour laquelle nous avons suivi le nombre le plus restreint de forages (2/86) pour des raisons de méfiance et d'accès à l'information. Cette différence est beaucoup moindre pour les autres catégories d'agriculteurs, par exemple pour les attributaires (16 % par rapport à 14 %) où nous avons suivi le plus d'ouvrages de pompage (11/72).

La troisième méthode consistant à l'extrapolation des pompages par l'intégration des informations relatives à l'intensité culturale irriguée est une méthode plus performante que les deux précédentes, même si la méthode ne permet pas de rectifier l'erreur d'extrapolation calculée pour les acheteurs. L'estimation des volumes pompés pour tous les autres types d'acteurs s'est nettement améliorée par rapport à la méthode 2, passant par exemple pour les attributaires de 1,62 (Méthode 1) à 1,46 Mm<sup>3</sup> (méthode 2) comparé à 1,29 Mm<sup>3</sup> comme valeur de référence (Méthode 4). Cette méthode, élargissant l'étude aux systèmes de culture, peut contribuer à la recherche des plans d'action de gouvernance dans les zones où l'on a affaire à des systèmes de culture diversifiés. Si les résultats de cette méthode sont assez opérationnels, c'est parce que le taux d'intensification culturale en irrigué calculé sur l'échantillon pour les attributaires ou locataires par exemple était suffisamment représentatif. Cette représentativité est fonction de l'importance du nombre d'exploitations agricoles suivies. L'indice calculé pour les attributaires et locataires est de 0,41 et 1,07 respectivement, comparés à 0,38 et 0,86 calculés sur toute la zone d'étude pour ces deux types d'agriculteurs. Pour les acheteurs cette analyse est très biaisée (0,89 contre 0,60), car il existe un nombre important d'investisseurs ayant accès à l'eau souterraine et pratiquant l'arboriculture, mais qui ont acheté récemment d'autres parcelles non encore mises en valeur.

La méthode d'extrapolation par l'assolement (Méthode 4) demande un grand effort de collecte et de traitement des données, mais elle est la plus précise. La valeur extrapolable se construit à l'échelle de la parcelle, où l'irrigation est pilotée selon différentes logiques, et à l'échelle de toute la zone d'étude où l'occupation spatiale des parcelles par des cultures, par des techniques d'irrigation et par des acteurs est cartographiée. L'échelle de la parcelle est un champ d'informations très important qui conditionne la réussite de l'exercice de quantification des prélèvements des eaux souterraines. C'est ici qu'on peut comprendre les pratiques des irrigants par rapport à la ressource. La méthode remet en cause les méthodes se fondant sur le calcul de besoins théoriques des cultures. Dans cette étude nous avons vu pour le maraîchage par exemple que les prélèvements réels peuvent être 3 fois supérieurs aux besoins théoriques, 14 000 m<sup>3</sup>/ha pour l'irrigation de l'oignon, par rapport au besoin théorique estimé à environ 4400 m<sup>3</sup>/ha (voir annexe 1).

À l'opposé, nous avons aussi observé des situations de stress hydrique (des volumes appliqués entre 5.000 et 6.000 m<sup>3</sup>/ha pour cette même culture), attirant notre attention sur les deux simplifications les plus communément opérées : 1) la mobilisation des besoins en eau théorique, 2) se limiter à quelques grandes catégories de cultures (maraîchage, arboriculture...). Si nous conseillons cette méthode, c'est parce qu'elle intègre bien la

perspective usager pour comprendre comment l'eau souterraine est réellement utilisée. Dans la plaine du Saïss, par exemple, l'Agence de Bassin vise une amélioration de l'efficacité globale moyenne d'irrigation de 56 % en 2005 à 67 % en 2015, soit une réduction de besoins moyens bruts de 6.573 à 4.492 m<sup>3</sup>/ha/an, lorsque 20.000 ha seraient convertis en irrigation localisée (Er-Rabbani et al., 2008). Selon Bouaziz et Belabbes (2002), un gain moyen de 20 % en efficacité globale est possible par la technique d'irrigation localisée. Dans notre étude nous avons montré que la technique du goutte-à-goutte peut facilement tripler le volume apporté par rapport à la technique de gravitaire (Ameur et al., 2014). Par ailleurs, la présentation d'une valeur unique et globale à l'hectare, indépendamment du type d'acteur et de l'assolement ne contribue ni à la justesse des calculs et bilans, ni à l'efficacité de gestion pour sauvegarder les nappes.

## **2.4. Discussion et conclusion**

Plusieurs études se sont intéressées aux prélèvements d'eaux souterraines par le secteur agricole, proposant différentes méthodes pour déterminer les volumes pompés. Très souvent, ces méthodes sont globalisantes, attribuant les prélèvements à tout le secteur agricole, ou sont basées sur des besoins théoriques des cultures. Dans un contexte de surexploitation des eaux souterraines, les méthodes globales ne permettent pas d'identifier les usagers et les usages, et leurs poids respectifs dans l'exploitation des eaux souterraines. Ces méthodes d'évaluation globales peuvent être intéressantes pour quantifier l'ampleur du problème de surexploitation, mais elles sont insatisfaisantes pour gérer la surexploitation. Notre approche distingue entre les différents types d'usages et d'utilisateurs de l'eau souterraine dans un contexte de surexploitation pour une double raison.

Premièrement, cela permet de mieux circonscrire le problème en quantifiant les contributions des différents systèmes de production et des différents types d'agriculteurs, permettant d'attribuer la surexploitation à des usages précis. Des mesures pour remédier à ce problème pourraient donc être mieux ciblées. Notre étude permet de relever deux cas de figure intéressants pour expliquer la surexploitation. Il s'agit d'abord des locataires qui irriguent parfois plus que trois fois les besoins théoriques des cultures par hectare et où les pratiques d'irrigation posent question. Il s'agit ensuite des grands investisseurs arboriculteurs qui sont très minoritaires en termes du nombre d'exploitations (5,3 %), mais qui sont responsables de près de la moitié des prélèvements en eau souterraine dans la zone. Identifier les implications des uns et des autres par rapport à la surexploitation constitue une bonne entrée pour la gouvernance. Proposer des leviers pour sauvegarder les nappes ne se résume donc pas aux connaissances des flux des nappes, aussi fondamentales sont-elles pour la prospection et l'évaluation des eaux souterraines, mais également par la connaissance de ceux qui l'exploitent, et comment elles sont exploitées dans une plus large perspective-usagers. C'est ainsi que réussir la sauvegarde des nappes se doit de considérer la question des inégalités.

Deuxièmement, nous avons montré que la surexploitation produit et accélère les inégalités socio-économiques et les exclusions. La baisse des niveaux de nappes entraîne des coûts importants de pompage et peut même aboutir à l'assèchement des puits peu profonds des attributaires (97 dans la zone d'étude). En même temps, la surexploitation des eaux

souterraines s'accompagne dans le Saïss d'une surproduction de certains fruits et légumes, entraînant une faible rentabilité des cultures irriguées (oignon, par exemple ; Lejars et Courilleau, 2015). En effet, avoir un accès à l'eau souterraine ne veut pas toujours signifier que l'on l'utilise. C'est le cas de 11 % d'ouvrages de captage à l'arrêt, appartenant essentiellement à des attributaires et petits melkistes. La surexploitation des eaux souterraines, qui engendre la surproduction des productions maraîchères notamment, est désormais un facteur d'accentuation des inégalités économiques entre exploitations agricoles. Prendre en charge le problème de la surexploitation devrait à notre sens se faire en y intégrant la question des inégalités d'accès à l'eau souterraine. Tenir compte de ces deux aspects peut ainsi contribuer, par exemple, à la discussion actuelle sur l'attribution des eaux du barrage de M'Dez (en cours de construction), qui devraient soulager l'utilisation de la nappe du Saïss. Comment concilier l'objectif de sauvegarde de la nappe avec la résorption des inégalités socio-économiques constatées ?

---

## **Chapitre 3.**

**Spécifier la contribution différenciée des  
agriculteurs à l'épuisement des eaux  
souterraines dans deux zones irriguées en  
Afrique du Nord.**

---

### Chapitre 3. Spécifier la contribution différenciée des agriculteurs à l'épuisement des eaux souterraines dans deux zones irriguées en Afrique du Nord.

Ce chapitre est paru comme article dans la revue Hydrogeology Journal :

Ameur, F., Amichi, H., Kuper, M., Hammani, A. (2017). Specifying the differentiated contribution of farmers to groundwater depletion in two irrigated areas in North Africa. Hydrogeology Journal. doi: 10.1007/s10040-017-1569-1

Le débat scientifique sur l'effet des inégalités sur la surexploitation des eaux souterraines a été abordé par les courants de pensée de la *political ecology* (e.g. Mukherji) et de l'économie institutionnelle sur l'action collective (Platteau), alors que les travaux en sciences de l'eau sur la question sont rares avec très peu de travaux empiriques. D'une manière générale, ce débat est encore émergent avec peu de dialogue entre disciplines. Indépendamment des régimes juridiques attribués à l'eau souterraine, dans plusieurs situations, les inégalités foncières ont souvent été décrites comme celles expliquant les inégalités d'accès à l'eau souterraine (Bhatia, 1992; Prakash, 2005). L'augmentation des inégalités d'accès à l'eau souterraine aggrave les inégalités économiques traditionnellement fondées sur la propriété foncière, conduisant souvent à une situation où une minorité d'agriculteurs prospèrent en monopolisant les ressources et une majorité de petits agriculteurs qui n'ont plus accès à ces ressources (Bhatia, 1992). Dans les régions où le libre accès à l'eau souterraine prime, les riches "seigneurs de la terre" deviennent ainsi "seigneurs de l'eau" (Singh, 1995). Cependant, Mukherji (2006) a nuancé ce propos en montrant que dans le Nord de Gujarat en Inde, même les petits agriculteurs ont pu partager les avantages de l'accès à l'eau grâce à l'émergence des coopératives des forages.

Dans un contexte de baisse généralisée des nappes souterraines provoquant l'assèchement de puits de certains (petits) agriculteurs (e.g. Moench), la question des inégalités d'accès et d'utilisation des eaux souterraines est revenue sur le devant de la scène. Cependant, ces inégalités inhérentes au problème de surexploitation sont restées peu étudiées. À travers ce chapitre, nous vérifions l'hypothèse sur les liens réciproques existant entre la surexploitation et les inégalités d'accès et d'utilisation des eaux souterraines. Par la méthodologie adoptée dans le deuxième chapitre permettant de faire la part des choses en matière de volumes pompés entre différentes catégories sociales d'agriculteurs, nous sommes en mesure de décomposer les discours sur la surexploitation pour identifier les responsabilités des uns et des autres. À travers ce chapitre, nous interrogeons —dans le sillage des réformes agraires opérées depuis la récupération des terres des colons— la construction historique de la surexploitation et des inégalités associées à celle-ci. Nous montrons ainsi que le produit de ces deux problèmes de gouvernance des eaux souterraines se matérialise par un phénomène de marginalisation économique et d'exclusion sociale qui semble s'opérer silencieusement. La mise en évidence de ces mécanismes générateurs d'inégalités et de surexploitation est utile pour enrichir la connaissance sur l'utilisation des eaux souterraines pour réfléchir à des

politiques publiques qui sauraient réduire à fois la pression exercée sur les nappes et cibler le renouveau rural.



## Specifying the differentiated contribution of farmers to groundwater depletion in two irrigated areas in North Africa

Fatah Ameer<sup>1,2,3</sup>, Hichem Amichi<sup>4</sup>, Marcel Kuper<sup>1,2</sup>, Ali Hammani<sup>2</sup>

1. CIRAD, UMR GEAU, 34398 Montpellier, France
2. IAV Hassan II, Rabat, Morocco
3. AgroParisTech, Paris, France
4. IRSTEA, UMR GEAU, 34398 Montpellier, France

### Abstract

Much attention has been paid to the issue of groundwater depletion linked to intensive groundwater-based agriculture in (semi-)arid areas. Often referred to as the “overexploitation” of aquifers, groundwater depletion is generally attributed to the entire agricultural sector without distinguishing between different uses and users. Although it expresses a general concern for future users, the ambiguous term of “overexploitation” does not acknowledge the contested nature of groundwater use and emerging inequalities. Also, the impact of inequality on groundwater depletion is rarely questioned. The aim of this article is to investigate how and by whom groundwater is depleted, and in turn, how unequal access to groundwater fuels the socioeconomic differentiation of farms and groundwater depletion. Based on a detailed analysis of groundwater use from a user perspective in two irrigated areas in North Africa (Morocco and Algeria), this study shows how the context of groundwater depletion exacerbates—and is exacerbated by—existing inequalities. The paper concludes that knowing how much is withdrawn, where, and by whom provides helpful information for more informed groundwater management by a better understanding of the response of users to declining groundwater conditions and the interests and incentives of different social categories of farmers to contribute to groundwater management.

**Keywords:** Agriculture, Overabstraction, Inequality, Morocco, Algeria Socioeconomic aspects.

### Résumé

Une attention particulière a été accordée à la question de l'épuisement des eaux souterraines lié à l'agriculture intensive reposant sur les eaux souterraines dans les zones arides à semi-arides. Faisant souvent référence à la « surexploitation » des aquifères, l'épuisement des eaux souterraines est généralement attribué à l'ensemble du secteur agricole sans distinction entre les différents usages et utilisateurs. Bien qu'elle exprime une préoccupation générale pour les futurs utilisateurs, le terme ambigu de « surexploitation » ne reconnaît pas la nature contestée de l'utilisation des eaux souterraines et des inégalités émergentes. De plus, l'impact de l'inégalité vis-à-vis de l'épuisement des eaux souterraines n'est que rarement questionné. L'objectif de cet article est d'étudier comment et par qui les eaux souterraines sont épuisées, et en retour, comment l'inégalité d'accès aux eaux souterraines favorise la différenciation socioéconomique des exploitations agricoles et l'épuisement des eaux souterraines. À partir

d'une analyse détaillée de l'utilisation des eaux souterraines dans deux régions irriguées d'Afrique du Nord (Maroc et Algérie), cette étude montre comment le contexte de l'épuisement des eaux souterraines exacerbe—et est exacerbée par—les inégalités existantes. Cet article conclut que le fait de connaître la quantité d'eaux souterraines extraite, où, et par qui fournit des informations utiles pour une gestion plus éclairée des eaux souterraines par une meilleure compréhension de la réponse des usagers aux conditions de déclin des eaux souterraines et des intérêts et incitations des différentes catégories sociales des agriculteurs pour contribuer à la gestion des eaux souterraines.

This article is part of the topical collection “Groundwater based agriculture in the Mediterranean”

### 3.1. Introduction

Over the last two decades much attention has focused on the depletion of different aquifers around the world linked to intensive groundwater use, especially for agriculture (Konikow and Kendy, 2005; Wada et al., 2010). However, much less attention has been paid to the way it is depleted by different users, reflecting existing inequalities in the access to groundwater, and to its socioeconomic and environmental consequences. Knowledge on groundwater resources is often considered insufficient, but “data on its use are even less reliable” (Giordano, 2009). This explains perhaps why groundwater depletion is generally attributed to the entire agricultural sector, identified as being responsible for 70% of groundwater withdrawals worldwide, which are estimated at 688 km<sup>3</sup>/year (Margat and Van der Gun, 2013), and for more than 90% of total consumptive water use (Siebert et al., 2010).

Mukherji and Shah (2005) identified three distinct perspectives to better understand the challenge of groundwater governance and to deal with issues such as uncontrolled groundwater depletion and inequalities in the access to and use of groundwater. The first is the *resource perspective*, which deals with the characteristics and behavior of groundwater resources in aquifers faced with excessive groundwater depletion. This perspective is useful to give users, managers, and the society at large a hydrogeological understanding of the impacts and alternatives to groundwater depletion (Konikow and Kendy, 2005). The resource perspective has so far dominated the “*global knowledge development as well as capacity building on groundwater use in agriculture*” (Mukherji and Shah, 2005). The second one is the *institutional perspective*, which deals with the formal and informal institutional arrangements under which the resource is appropriated and used in groundwater economies. Research focused first on groundwater governance as collective action following the groundbreaking work of Ostrom (e.g. Blomquist, 1992), followed by the analysis of formal and informal institutional arrangements, including the informal groundwater markets or the cooperative ownership of irrigation assets (Bouarfa and Kuper, 2012; Mukherji, 2007). The third one is the *user perspective*, investigating the characteristics and behavior of groundwater users. This perspective has arguably received the least attention among the three perspectives, perhaps because it requires a local magnifying glass to disentangle messy field situations. However, there is an emerging consensus that “*all aspects of the environment have been modified by human activity, including groundwater, and that improving conditions for groundwater and dependent environments requires changing human behaviour*” (Mitchell et al., 2012). It is critical to develop and then blend these three perspectives as they provide complementary views on intricate and complex groundwater governance issues, which cannot be solved by hydrogeologists only (Mukherji and Shah, 2005).

Managers in charge of groundwater resources often refer to processes of uncontrolled groundwater depletion as “overexploitation”. This term has been subject to much debate from a resource perspective, including in this journal (e.g. Alley and Leake, 2004; Custodio, 2002; Konikow and Kendy, 2005). Overexploitation at best can be considered “*a qualifier that intends to point to a concern about the evolution of the aquiferflow system in some specific, restricted points of view, but without a precise hydrodynamic meaning*” (Custodio, 2002).

From a user perspective, it can be argued that the term is also equivocal. Although it pinpoints a general concern of groundwater use exceeding recharge with consequences for future water uses, overexploitation usually does not acknowledge the contested nature of groundwater use between different social categories and emerging inequalities, particularly in a context of groundwater depletion: *“The benefits of unrestricted access to pump groundwater is disproportionately appropriated by the large-scale landholding farmers who have the capital to drill deeper, while the poorer farmers are thrown out of the race and come to depend on these big tubewell owners for their livelihood.”* (Mukherji, 2006). Understanding inequalities in the access to and use of groundwater is an important governance challenge, not only to identify the socioeconomic differentiation produced by groundwater depletion (e.g. Janakarajan, 1999), but also to understand how such inequalities may be at the origin of groundwater depletion. The impact of inequality on natural resource management is notoriously ambiguous (Baland and Platteau, 1999). Following Olson’s more general contention that inequality may favor natural resource management in the 1960s, it has been argued that some asymmetry in groundwater allocation may even facilitate groundwater governance, if *“better situated users are willing to assume a leadership role”* (Blomquist et al., 2005). However, *“extreme inequality may be detrimental or even fatal”* as stakeholders that are too privileged are unlikely to engage in efforts to regulate groundwater use, while those who have an interest to do so may be *“so destitute (...) they may rationally elect not to participate even though improved resource management would make them better off in the long run”* (Blomquist et al., 2005). Mukherji, (2006) used a slightly different line of argument on the relationship between inequality and groundwater regulation. Considering that *“the presence or absence of a farmer lobby determines whether or not groundwater regulations can work in India”*, this author showed that farmer lobbies are strong only in the states where *“the medium and large landholding farmers constitute over 20% of the total farmers”*. Leadership in the case of groundwater use may thus be focused on ensuring continued groundwater use without restrictions rather than on regulating it. In turn, in *“strongly inegalitarian agrarian societies”*, the rich may also tolerate rule violations by the poor—in this case informal groundwater use—to *“guarantee the latter’s subsistence”* in the context of a more general patron-client relationship (Baland and Platteau, 1999).

The aim of this paper is then to analyze how and by whom groundwater is depleted, and how in turn the differential access to groundwater impacts on the socioeconomic differentiation of farms and on the depletion of aquifers. Following Konikow and Kendy (2005), groundwater depletion is defined as a *“reduction in the usable volume of fresh groundwater in storage”*, thus accounting both for water quantity and quality considerations. Adopting a user perspective, this analysis reveals the historical construction of unequal access to groundwater in two irrigated areas in North Africa, and challenges the general discourse of overexploitation, by specifying the contribution of all the actors concerned. This is not an easy topic to study in a context of atomistic and contested groundwater use, but this article argues that it is a crucial issue and it shows how a context of groundwater depletion exacerbates existing inequalities, which in turn, contributes to creating groundwater depletion. It is expected that the study will contribute to clarifying the debate on the

regulation of groundwater use.

## **3.2. Methodology**

### **3.2.1. Study area**

This article is based on two case studies in North Africa, which have particularly dynamic and mostly informal groundwater economies. It is estimated that in Algeria, Morocco, and Tunisia, groundwater caters to more than 1.75 million ha of irrigated land (more than 60% of the total irrigated area), supplying more than 500,000 farms; however, more than half of the aquifers are excessively depleted and only 20–30% of all farmers have access to groundwater (Kuper et al., 2016).

The study was mainly conducted in the rich agricultural Saïss plain in Morocco (rural municipality of Iqaddar; figure. 9). According to the river basin agency, the water balance of this area shows an annual average deficit of 100 million m<sup>3</sup>, which is due mainly to the agricultural sector accounting for more than 80% of the groundwater consumption. This plain is often described as an emblematic example of a medium-sized overexploited aquifer system (Benaabidate and Cholli, 2011). A comparison was then made with the Lower Chelif plain in Algeria (rural municipality of Ouarizane; figure 9), building on a number of recent studies on inequalities in access to groundwater (Amichi et al., 2012). The two study areas shared an eventful agrarian history during the French colonial period (1830–1962 in Algeria; 1912–1956 in Morocco) when settlers obtained large tracts of land, and after independence as the states decided to maintain these large-scale modern farms and make the land public property. Due to the disappointing results of the state farms and a gradual shift towards more liberal policies, a series of agrarian reforms progressively dismantled the state-led agricultural development model and promoted more entrepreneurial farming. In both areas, there are similar processes of agrarian change with the arrival of entrepreneurial farmers seeking access to land and to groundwater; however, in Ouarizane, and in contrast to Iqaddar, their presence is informal, and farmers with land use rights are still protected by the law.

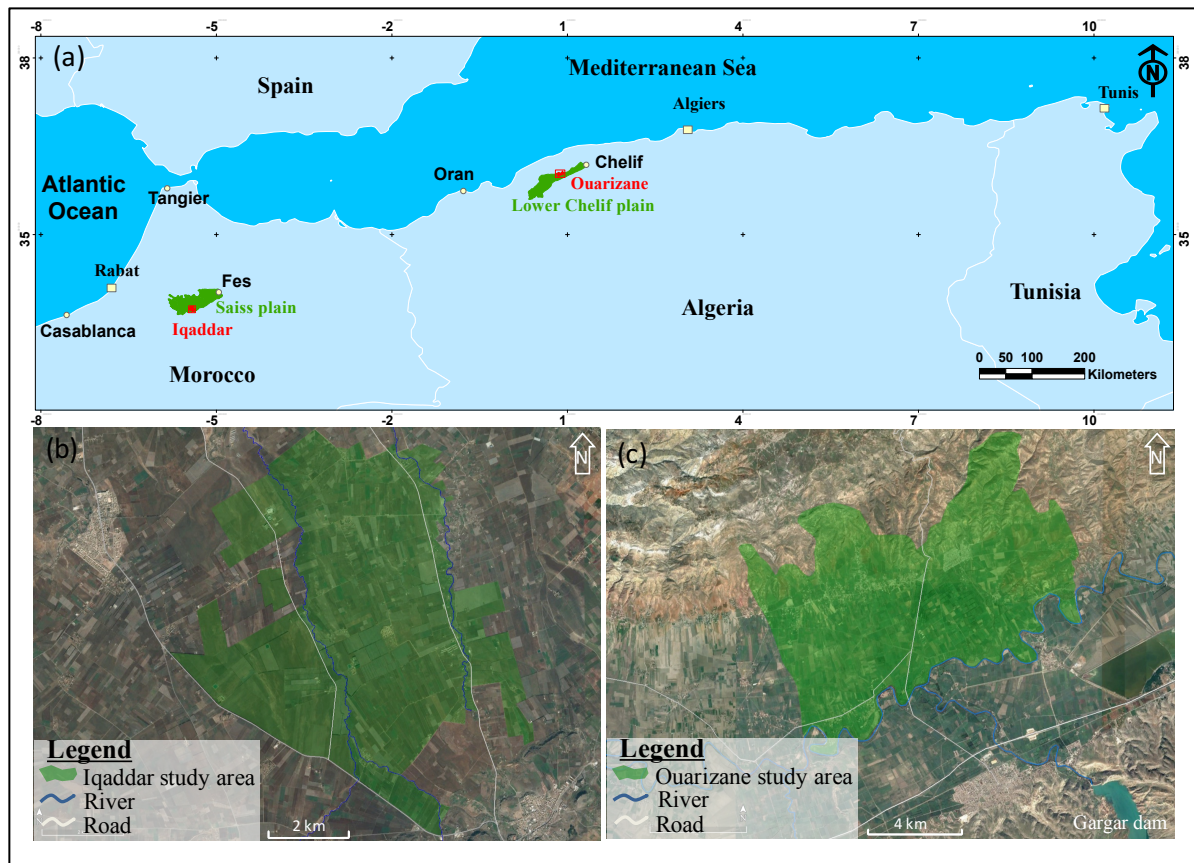


Figure 9. a) Geographic location of Saïss and Lower Chelif plains. Study areas b) Iqaddar and c) Quarizane

The natural resources of the semi-arid Saïss plain (fertile land, groundwater resources, 400–500 mm rainfall enabling rain-fed agriculture, natural springs) have always been contested. They aroused the attention of the agricultural development services interested in developing entrepreneurial farming and of urban planners looking to provide drinking water to nearby cities. The 2006 land reforms, which privatized access to public land, and recent ambitious agricultural policies attracted many new entrepreneurial farmers who rely on groundwater to grow fruit trees or practice horticulture. The study area in Iqaddar is a 3,900 ha area with rain-fed agriculture (cereals, legumes) and increasingly irrigated agriculture (horticulture, fruit trees, forage crops), based on shallow hand-dug wells in the shallow Plio-Quaternary aquifer which is supplied directly by precipitation and tube-wells, which are bored wells, taking water from the phreatic aquifer and the deep confined Liassic aquifer. Because of the low-yielding phreatic aquifer, shallow dug wells are dimensioned to be a reservoir with a diameter of 2 m; their depth generally does not exceed 50 m, as they are dug manually. However, since the 1990s, a new technique of mechanical boring was developed, which allows reaching the deep confined Liassic aquifer. The borehole generally has a width of 30–40 cm of diameter and a depth of 120–250 m. The water resource is more abundant in this aquifer, enabling farmers continued pumping when necessary, contrary to the shallow dug well, which needs to be switched off after 3–4 h to recharge the dug well.

The Ouarizane municipality covers 6,000 ha of agricultural land of which 50% is included in a large-scale surface water irrigation system supplied by Gargar Dam. In practice, since the early 1990s, the area actually irrigated has rarely exceeded 1,800 ha due to droughts and priority allocation of dam water for drinking water, and only orchards received some water to ensure their “survival”. Rainfall is less than 300 mm/year. To compensate for the lack of surface water, some farmers installed tube-wells to a depth of more than 60 m, taking water from the Pliocene marine aquifer with an estimated annual recharge of 11 Mm<sup>3</sup> (Bradaï et al., 2012). The crops grown are rain-fed cereals, and irrigated horticulture (mainly artichokes) and fruit trees. In both study areas, a continuous decline of the water table has been observed: from 0.5 to 1 m per year since the 1990s in Ouarizane, while in Iqaddar the water table has dropped by 15 m in the phreatic aquifer and by 90 m in the confined Liasic aquifer since the 1980s.

### **3.2.2. Research approach**

The research approach was designed to first understand how the (unequal) access to and use of groundwater was historically constructed, linked to processes of agrarian change. More than 30 historical interviews were carried out in each study area with key resource persons (elderly farmers, representatives of state agencies) who had experienced the major transformations of local agriculture. Next, a database was developed containing information on all farms in the study areas (237 in Ouarizane and 321 in Iqaddar), covering all the basic structural parameters such as access to land and water, farm assets, cropping systems, livestock and labor. Based on the data collected, a typology of farms was built. Second, detailed economic farm surveys were conducted (24 farms in Iqaddar and 50 farms in Ouarizane). On the basis of crop yields and the sales prices of each crop, while deducting the production cost and amortization of the investment in equipment, the net incomes were estimated to quantify the economic differentiation of these different farm types as a result of unequal access to groundwater. Finally, irrigation was monitored to quantify groundwater withdrawals by the different types of farm. This last step was only implemented in Iqaddar, as the monitoring required considerable time and effort.

## **3.3. Results**

In this section, the historical construction of the present inequalities in the access to groundwater is first presented, after which the impact of the unequal access to and use of groundwater on farm net incomes is analyzed. Finally, the contribution of different users and uses to groundwater depletion is determined.

### **3.3.1. Historical construction of inequalities in the access to groundwater**

When visiting the study areas, one is struck by the juxtaposition of rich orchards of citrus (Ouarizane), grapes and plums (Iqaddar), meticulous horticultural plots —artichokes and melons in Ouarizane and onions and potatoes in Iqaddar— and more sober rain-fed plots, which are cropped with cereals, forage and legumes in winter and are fallow in summer. More generally, there is a stark contrast between (agricultural) opulence and misery, linked to the access to and use of groundwater (Bossenbroek, 2016). In both study areas, three main

historical periods of agrarian change, linked to the access to groundwater, can be distinguished since independence of Algeria and Morocco from French colonial rule in the second half of the 20th century.

***The entrepreneurial state: the origins of inequalities in the access to land and water***

During the colonial period and all through the period of state-led agricultural development after independence until the early 1980s, groundwater was not at the center of agricultural development. The French settlers produced rain-fed grapes and cereals in Iqaddar and relied on surface water to grow rice, cotton, cereals and some fruit trees and horticulture in Ouarizane. Nevertheless, the roots of present-day inequalities in groundwater use can be traced back to this period. Access to land was thoroughly disrupted by the creation of large-scale “modern” farms, evicting the local peasants and pastoralists to marginal lands in the piedmont (Amichi et al., 2015). After independence and the departure of the settlers in both countries, the state did not dismantle these modern production structures, but considered them as a means to develop modern and productive agriculture. The land became state property and the mode of production became state driven.

In Iqaddar, 88% of the public land obtained from settlers was converted into two large-scale farms in 1973, one of which was partly irrigated through groundwater, while the other was designed to produce rain-fed cereals (1,900 ha). Figure 10 shows that before 1970, there were only 22 dug wells and 1 tube-well in the study area, of which the vast majority were only used for drinking water, while the remaining dug wells were used to irrigate a limited surface area of orchards.



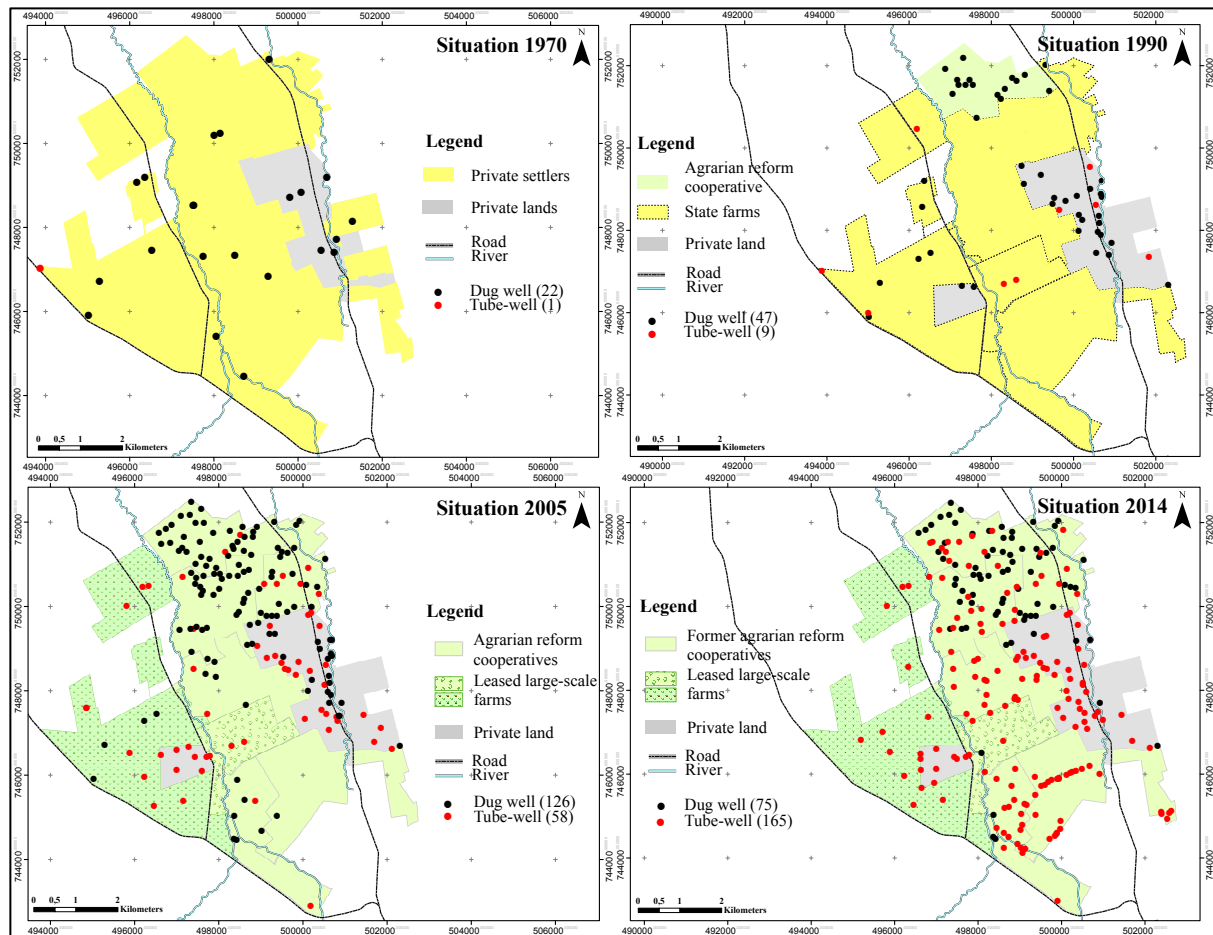


Figure 10. Diachronic evolution of the access to groundwater in a process of agrarian change in Iqaddar

In Ouarizane, three 1,500–1,800 ha farms were created in 1962 based on the Yugoslavian model of self-management (Chaulet, 1984). Only some citrus orchards were irrigated through surface water. While in theory, the mode of production was collectivist in Algeria and state-led in Morocco, in practice the state was also in charge of the self-managed farms in Ouarizane. The state as entrepreneur was in charge of defining the production strategy but also responsible for daily management. The laborers who had previously worked for the French settlers thus became laborers of state farms. These laborers were recruited by the state because of their knowledge of the farms, their agricultural skills, but also simply because they were there (Amichi et al., 2015). This model was plagued by numerous management difficulties and the farms were by and large unprofitable, which led to a series of reforms to improve their functioning by dividing the farms in smaller production units or changing the management set-up (Amichi et al., 2012; Kuper et al., 2016).

#### ***Transition period: dismantling the collectivist farm structures***

The de-collectivization process dates back to 1987 in Ouarizane and to 1991 in Iqaddar. Both states progressively disengaged from their entrepreneur status and adopted land reforms by distributing land use rights to the former laborers of these farms, who became assignees. In Iqaddar, the state farm was dismantled and transformed into 178 individual farms organized

in five small agrarian cooperatives (figure 10). In Ouarizane, the land was attributed to 98 small groups (between 3 and 10 assignees), each obtaining a surface area of about 10–75 ha. During this transitional period, the relations between the state and the assignees were complex. On the one hand and despite agrarian reforms, the state remained closely involved in agriculture on public land. The assignees were supposed to collectively work the land within the small collective farms in Ouarizane and to follow imposed cropping patterns in Iqaddar cooperatives. Then again, the assignees not only wanted to obtain a certain autonomy with respect to the state, but also with respect to their peers. They thus became involved in an individualization process, as in their mind, collective work was associated with a painful state-imposed past.

During this period, groundwater increasingly became a strategic resource and the inequalities in the access to groundwater became apparent. In Iqaddar, many assignees installed shallow dug wells, which gave them a certain degree of liberty with respect to the state and the obligatory cropping patterns. Access to groundwater was viewed as liberation from the state, which became an observer rather than the main actor of agricultural development (Kuper et al. 2016). The number of dug wells rose rapidly (126 dug wells in 2005; figure 10); however, access to groundwater was far from being generalized and only 40% of the assignees had access to groundwater in 2005. In Ouarizane, the differences between assignees in the access to groundwater depended on the heritage they had received from state farms. The assignees who had received orchards, which provided a guaranteed annual income, and irrigation infrastructure (surface irrigation system, state tube-wells) were able to develop their farms. Immediately after the 1987 land reform, prolonged droughts prompted state authorities to redirect the surface water from the Gargar Dam that was originally reserved for irrigation to supply the urban demand of neighboring coastal cities (particularly the city of Oran). The water that remained for agriculture was allocated primarily to ensure the “survival” of orchard trees so only those assignees who had inherited fruit trees benefited from surface water. Assignees who had inherited tube-wells from state domains were also able to withstand droughts. However, most assignees had no access to irrigation water and had difficulty surviving on their farms. Their situation got worse after the 1994 decision by the Algerian authorities to prohibit the drilling of new tube-wells.

### ***The state’s staged comeback: attracting entrepreneurial farmers***

From 2000 onwards, both countries adopted new strategies to support high value-added agriculture. These ambitious strategies attracted new investors, who often came from other economic sectors, and groundwater played a central role in these strategies. In both cases, these strategies built on earlier inequalities in the access to land and groundwater. In Iqaddar, for instance, while the ill-equipped state farm practicing rain-fed agriculture was progressively dismantled and distributed to its former laborers, the irrigated state farm was considered to be a rich farm (orchards, irrigation infrastructure, processing and packaging facilities) that could not be attributed to assignees. Therefore in 1991, the farm was leased to a big investor in the form of a public private partnership and the amount of land under fruit trees and consequently the use of groundwater increased rapidly. In Ouarizane, entrepreneurial farming began mainly through informal lease arrangements with lessees who

had the social and financial capital to drill tube-wells and engage in more entrepreneurial farming, thereby revealing the economic potential of groundwater use.

State support for agriculture increased considerably after 2000. In Ouarizane, this policy took the form of the National Agricultural Development Plan (PNDA), which subsidized fruit trees and drip irrigation. In Iqaddar, the subsidy schemes were preceded by land privatization in 2006 through the “release” decree, whereby assignees could buy the land, which they already had the right to use. This privatization facilitated access to the land for private investors who bought the land from assignees who did not have the financial capital to engage in the new forms of entrepreneurial farming. The launching of the Green Morocco Plan in 2008, which subsidized intensive agriculture, reinforced these land markets by providing attractive subsidies for investors (fruit trees and drip irrigation, in particular). Today, these investors own approximately 50% of the land that belonged to the former cooperatives.

In both situations, the new private actors were attracted by the potentially irrigable lands of assignees and by the public subsidies. These actors had significant investment capacity and obtained access to land through informal leases in Ouarizane and Iqaddar, and by buying the land officially in Iqaddar (25,000–35,000 €/ha). These actors were behind the proliferation of tube-wells needed to introduce the new farming systems acclaimed by the agricultural policies. A process of land concentration took place along with increasing access to the confined aquifer. As land sales were not yet allowed in Ouarizane, the land concentration was more limited and happened through informal land leases with a reverse tenancy configuration. Reverse tenancy refers to a switch of power relations in which the lessees take the upper hand due to a better endowment in “*equipment, financial capital and technical and marketing expertise*” (Amblard and Colin, 2009). In Ouarizane, some lessees managed to increase the average size of their farm from 3 ha in the early of 1990s to more than 25 ha in 2010. Finally, while there is a striking discourse on groundwater overexploitation by the river basin agency, the licensing systems for access to groundwater adopted in recent years in Iqaddar and the prohibition of drilling in Ouarizane had no effect on these newcomers, who had the necessary financial and social capital to obtain access to groundwater and even to exclude the assignees from the groundwater economy.

In both areas, access to subsidies was selective, as they depended on the economic solvency of farms and on an official land title. In Ouarizane, small lessees who had no land of their own could therefore not obtain subsidies. Individual assignees who did not have an individual property right were also excluded from the majority of grants, as the subsidies were only available collectively. The majority of assignees (about 70%) are thus in a process of impoverishment, characterized by the widespread individualization of their small-scale farms (3–5 ha) and the gradual renting out of their lands. The surveys showed that out of the 62% of individualized farms without access to water, 40% of farms have rented out their land and 17% were abandoned. However, a minority of assignees with access to irrigation water (mainly groundwater) managed to establish viable farms through crop diversification and livestock raising. Economic fragility also affected the assignees in Iqaddar, especially those with no access to groundwater. Their farming systems (cereals and sheep breeding) remained

extensive in the wake of the successive reforms. The aggressive ambitions of investors in intensive farming systems, exclusively based on high value-added agriculture and on groundwater use, led to serious drops in water tables. This caused further restrictions on access to groundwater for assignees and the abandonment of 48% of the shallow dug wells belonging to the assignees that ran dry (figure 10), and thus to new inequalities.

### 3.3.2. Socio-economic differentiation in farms: introducing a new cycle of inequity

Unequal access to and use of groundwater contributed to the socio economic differentiation of farms, but this does not explain all the resulting differences in net incomes, which are also due to the unequal access to land and, increasingly, to financial capital which became the center of gravity of modern inequalities. In this section, the farm net income of the different social categories of farmers presented in the preceding section are analyzed as a function of access to groundwater and their farming systems (Table 3).

*Table 3. Farm net income distribution*

| Social categories | Iqaddar (Saïss)  |   |                | Ouarizane (Lower Chelif)  |   |                |
|-------------------|--|---|----------------|---|---|----------------|
|                   | Actors   | Farm net incomes (€/family worker/year) | Farm size (ha) | Actors  | Farm net incomes (€/family worker/year) | Farm size (ha) |
| Assignees         | Assignees with no access to groundwater                            | 2250                                    | 6-10           | Assignees with no access to water   | 3200                                    | 9-11           |
|                   |  |   |                | Assignees with access to surface water                                    | 3600                                    | 10-11          |
|                   | Assignees with individual access to groundwater through dug wells  | 1570                                    | 8-13           | Assignees with access to surface water & collective access to groundwater | 3000                                    | 4-6            |
|                   | Assignees with individual access to groundwater through tube-wells | 2340                                    | 8-15           | Assignees with individual access to groundwater through tube-wells        | 4000                                    | 10-12          |
| Lessees           | Lessees with individual access to groundwater through tube-wells   | 39900                                   | 6-8            | Big lessees with individual access to groundwater through tube-wells      | 12600                                   | 30-50          |
|                   |  |   |                | Small lessees with access to groundwater through arrangements             | 2700                                    | 3-5            |
| Investors         | Medium investors with tube-wells                                   | 50200                                   | 5-18           | -   | -                                       | -              |

Three main conclusions can be drawn from Table 3. First, secure groundwater access is crucial for farmers in both study areas. This is particularly true in the more arid Ouarizane area. It allowed farmers with even the smallest farms to intensify and to obtain a sufficient net income. This is particularly the case of the small lessees who obtained a net income of 2,700 €/family worker/year on farms with an average size of 4 ha. This is higher than the Algerian minimum wage, which was evaluated at 1,800 €/year in 2010. Although assignees with no access to water had a slightly higher net income than the small lessees (Table 3) their net income was still low considering that their farm averaged 10 ha in size. Most of the net income of these farms came from their livestock (30–40 sheep) rather than from rain-fed agriculture.

Second, the table shows a wide range of net incomes depending on the security of access to water. The access to groundwater is an important factor enabling or restricting the farming systems. In Ouarizane, assignees with access to groundwater had a higher net income (4,000 €/family worker/year) than assignees with only access to surface water, even though their farms were the same size (10–11 ha). As surface water is less available and especially irregular, intensification is more difficult. Likewise, individual access to groundwater provided higher net incomes than the collective access even when combined with access to surface water. Collective access to groundwater was ensured through old inherited tube-wells whose yields were affected by groundwater depletion. However, this category of assignees obtained a reasonable net income (3,000 €/family worker/year) on relatively small farms (5 ha on average), due to the orchards they inherited which continued to be productive.

An even bigger difference in net income was revealed in Iqaddar between farms with access to groundwater. This is also partly explained by the security of access, which is linked to the device used to draw groundwater. Most assignees only gained access to the superficial phreatic aquifer through shallow dug wells. Due to these low yielding dug wells, access to groundwater was so limited that these assignees practiced rain-fed agriculture on 62% of their total farm area often combined with sheep farming and to a lesser extent with cattle farming. In contrast, lessees and investors obtained access to groundwater through individual tube-wells that provided water whenever necessary, which is a prerequisite for intensive farming systems (fruit trees, horticulture).

Third, intensive groundwater-based agriculture required financial capital. For instance, the difference in net income among assignees in Iqaddar with or without access to groundwater was not very large, because they simply did not have the capital they needed for intensive agriculture, despite having tube-wells. Assignees whose farms were the same size (8–13 ha) obtained 1,570 €/family worker/year (insufficient compared to the agricultural minimum wage of 2,100 €/year) from a farm with a low yielding dug well and 2,340 € from a farm whose access was by tube-well. These farmers generally did not have the means for all the necessary inputs including seeds, fertilizer, and pesticides as the production cost of 1 ha of onion averages 4,000 €. Thus, 70% of assignees engaged in sharecropping to co-finance irrigated agriculture on part of their land, but only 50% of the net income generated by irrigated agriculture went to the assignee.

Linked to the issue of lack of capital was the concern expressed by assignees of getting too involved in what they considered a very risky groundwater economy due to the high costs of intensive farming and the volatile markets. Most assignees thus raised sheep, a form of capitalization that makes it possible to finance access to groundwater to irrigate part of their land. A certain number of assignees even expressed regrets for having become involved in irrigated agriculture as they had lost money on horticultural crops. Those who still practiced sheep farming without irrigated agriculture therefore had a higher income (2,250 €/family worker/year) than those weakened by the insecure access to water through shallow dug wells (1,570 €/family worker/year). However, as a rain-fed farming system, raising sheep is vulnerable and depends on rainfall conditions. During drought events, the system is not immune from substantial losses, and the ownership of at least one dug well provides a degree

of security.

In contrast to assignees in both study areas, the new private investors practiced intensive irrigated agriculture and obtained high incomes. The financial capital invested in agriculture is so high that for instance in Ouarizane, big lessees with individual access to groundwater through several tube-wells had the highest incomes, more than 12,600 €/family worker/year, which explains their gradual land concentration process. Income differentiation between assignees and newcomers to Iqaddar was drastic and quickly constructed. Lessees identify themselves as having a mining logic at the expense of environmental sustainability, they obtain high incomes on small plots of about 6–8 ha (39,900 € or about 6,400 €/ha; Table 3). The incomes in Iqaddar are higher than those obtained by Ouarizane's lessees due to much more intensive market-oriented farming systems (mainly onions, potatoes) and relatively profitable agricultural markets. In Iqaddar, these lessees often provided more than four times the real crop water requirements to obtain high yields, and produced two to three horticultural crops per year.

The basic difference between the two study areas is the legal presence of investors in Iqaddar. This explains why orchards in Iqaddar were in the hands of investors who had bought the lands from assignees, while in Ouarizane they were still in the hands of assignees. Socioeconomic differentiation thus emerged in Ouarizane within the social category of assignees. The difference in net incomes between assignees is explained by the fact that those with access to surface water, generally own orchards, which provide substantial revenues. Those who did not inherit orchards were subject to a double injustice, as they did not receive the annual net income provided by orchards and, in addition, they did not obtain access to the public surface water infrastructure, which in a context of water scarcity, catered only to orchards. As access to groundwater was officially forbidden, these assignees did not have access to groundwater and were caught in an impoverishment trap. In Iqaddar, the orchards belong to new investors who were able to buy the land. These investors capitalized on fruit orchards as the markets were good and the state subsidized the plantation of orchards. This emerging model was profitable (50,200 €/family worker/year on 11 ha on average) even though some of the fruit trees were not yet producing. Once this model is in full production, it could provide up to two times higher net incomes; however, in view of the substantial financial investments required this model was reserved for (subsidized) investors with sufficient capital who were able to wait 3–4 years to reap significant profit. Nevertheless, these investors recently expressed increasing concern about the uncertain markets for fruit.

### **3.3.3. Who causes groundwater depletion?**

The previous sections showed how former workers on large-scale colonial and then state farms progressively lost their status. While for a long period they were favored for their knowhow and obedience at a time when the settlers or the state directed agriculture, they were progressively rejected in the more recent neoliberal policies. Their agricultural and irrigation practices were labeled as “unproductive”, “inefficient” and “wasteful” to justify more entrepreneurial farming (Bossenbroek, 2016). In a cruel twist of irony, the new lessees and investors even called on the descendants of the assignees when they needed laborers, thus

perpetuating a model that had been abandoned when assignees obtained their own farms. The new investors in both study areas all obtained access to groundwater through individual tube-wells. Their farming systems rely on intensive groundwater use. In this section, the respective contributions of the different categories of farmers to groundwater depletion are investigated, with particular focus on Iqaddar (Table 4).

*Table 4. Groundwater access and use of the different farm categories in Iqaddar (Saïss)*

| Actors           | Access to groundwater |           | No access to groundwater |           | Total area (%) | Number of Dug wells/Tube-wells |            | Estimated annual volume of water pumped |     |
|------------------|-----------------------|-----------|--------------------------|-----------|----------------|--------------------------------|------------|---|-----|
|                  | Number of farms       | Area (ha) | Number of farms          | Area (ha) |                | Dug wells                      | Tube-wells | Mm <sup>3</sup>                         | %   |
| Big investors    | 2                     | 1,375     | -                        | -         | 35             | 1                              | 18         | 2.6                                     | 28  |
| Medium investors | 53                    | 633       | 70                       | 348       | 25             | 14                             | 72         | 2.3                                     | 25  |
| Assignees        | 64                    | 607       | 77                       | 481       | 28             | 48                             | 24         | 1.2                                     | 14  |
| Lessees          | 48                    | 385       | 7                        | 81        | 12             | 12                             | 44         | 3.1                                     | 33  |
| Total            | 167                   | 3,000     | 154                      | 910       | 100            | 75                             | 158        | 9.2                                     | 100 |

Table 4 shows there are three main groups of groundwater users. First, the biggest users per ha are the lessees. Although they occupied only 12% of the land, they are responsible for 33% of the annual groundwater use and have little interest in preserving the aquifer, as they do not stay more than 3 years on a plot. Their intensive irrigation practices are linked to their ambitions to obtain “big” yields of onions and potatoes, which require large amounts of irrigation water and fertilizers. They referred to themselves as ‘soil killers’ by practicing horticulture without crop rotation. When they observe decreasing soil fertility or a problem of groundwater access, they move on to other land. As the main actors causing local environmental externalities, they continue farming through spatial mobility to seek new low-cost opportunities.

Second, the big and medium-sized investors pumped more than half (53%) of the total annual groundwater used in the study area. This category has a medium-term interest in groundwater, as they are keen to recover their investment in fruit trees. In this group, some investors consider agriculture as one among other economic activities; and in the case of groundwater depletion or poor agricultural markets, they could simply quit agriculture. However, others have invested a considerable part of their earnings and are keen to continue farming. In the case of groundwater depletion or poor markets, they will be tempted to develop alternative farming systems, such as livestock raising, thereby following the strategies of assignees. In fact, this was already the case over the past 2 or 3 years. The big investors belong to “untouchable” agricultural lobbies. For the time being, they have a strategic interest in maintaining long-term access to groundwater. However, given the recent proliferation of tube-wells belonging to medium investors and lessees, they engaged negotiations with the state to protect their own interests and to prospect for new opportunities. When the state tried to attenuate the irrigation water scarcity in the Saïss by transferring surface water from the M’dez Dam (under construction), the big investors were

the first to show interest as they expected to reduce their dependence on groundwater. In contrast, most other farmers were only aware of the new project through rumors, which could lead to issues of equity in the future planned allocation and to the decreasing interest of these large-scale farmers in protecting the groundwater resource.

Third, most of the former assignees were progressively excluded from groundwater use due to the drop in water tables. Others were unable to use groundwater due to increased salinity levels of the phreatic aquifer in some areas. While they occupied 28% of the land and despite their different strategies to obtain groundwater access during more than 20 years, they were only using 14% of the groundwater pumped annually. Their original aim was to obtain access to groundwater through shallow dug wells to earn more from agriculture. The economic difficulties arising from this exclusion prompted many assignees to quit and sell or rent out their land. Some reverted to rain-fed agriculture and livestock raising when they had to pull out of the groundwater economy.

In Ouarizane, at the time of the survey, 57% of the assignees (on 41% of the land) had insufficient access to water to conduct intensive irrigated agriculture (Table 5). While some had limited access to surface water to grow some irrigated crops, others had no access to irrigation water and their survival strategies (e.g. livestock) were undermined by the severity of the droughts. Groundwater issues did, therefore, not concern these farmers, as they did not have access to groundwater.

*Table 5. The different categories of actors identified in Ouarizane*

| Actors  | Farms  |     | Areas        |     |
|---|--------|-----|--------------|-----|
|   | Number | %   | Surface (ha) | %   |
| Assignees with no access to water                                 | 91     | 39  | 865          | 31  |
| Assignees with access to surface water                            | 43     | 18  | 280          | 10  |
| Assignees with collective access to groundwater and surface water | 34     | 14  | 320          | 12  |
| Assignees with individual access to groundwater                   | 27     | 11  | 297          | 11  |
| Big lessees with tube-well(s)                                     | 12     | 5   | 780          | 28  |
| Small lessees who access water through arrangements               | 30     | 13  | 225          | 8   |
| Total   | 237    | 100 | 2,767        | 100 |

A total of 27% of the farms belonging to assignees and small lessees had access to groundwater through collective tube-wells and informal arrangements, respectively. Their contribution to groundwater depletion is not significant, due to their smaller land holdings (20%) and to their status as the lowest earners, and to the poor shape of the ageing collective tube-wells that have not been well maintained. The ongoing groundwater depletion will seriously hamper the survival of both groups. First, the increasing costs to obtain groundwater due to declining water tables will limit groundwater access of small lessees while their low financial assets will limit their mobility. Second, the collective access to groundwater through the ageing tube-wells will face increased social conflicts to reinvest in tube-wells and share groundwater use. Both actors thus have a keen interest in the regulation of groundwater use, but their position is rather weak.



The two categories of farmers with individual access to groundwater are mainly responsible for groundwater depletion. This concerns only 16% of the farmers, but are those who have access to the most land (40%). The first category, assignees who were able to expand their farms, are very attached to the land and to groundwater access, as it enables irrigated agriculture and provides substantial net incomes in the medium-term. The second category, big lessees, illicitly drilled several tube-wells to ensure a supply of water for their intensive horticultural practices. This enabled upward socioeconomic mobility as well as a social revenge as their ancestors had been deprived of land access. Nowadays, these big lessees concentrate more and more land and groundwater access. For both categories of farmers, groundwater use is strategic and they have a keen interest in maintaining this access in the medium term. However, the big lessees have difficulty expressing their concerns, as their presence is illegal and their groundwater access often informal; nevertheless, the recent land reform aimed at land liberalization by establishing concessions (alliances between assignees and investors) may officially recognize their presence. The question is whether this will also encourage these farmers to engage in a better-planned depletion process of the aquifer.

### **3.4. Discussion**

#### **3.4.1. What impact of inequalities on groundwater depletion?**

There has been a growing interest in the recent literature in the impact of increasing inequalities in the access to natural resources on environmental problems and on local resource management (Baland et al., 2007). The depletion of groundwater is one of these environmental problems, as groundwater is a provider of rural livelihoods to millions of smallholders in Africa and Asia, threatened by declining water tables, growing inequalities and increasing dependence on wealthy “water lords” (Sarkar, 2011). However, in order to “*blame inequality when the tragedy of the commons unfolds, one needs to know how inequality affects the ability and the incentives of group members to cooperate*” (Baland et al., 2007). Generally, it is assumed that a change in inequality “*redistributes incentives in different directions, thus has ambiguous effect on the ability of users to take steps toward conserving their resources*” (Baland and Platteau, 1999). Farmers who have a larger stake in the groundwater resource would have a “*greater incentive to take conservation measures*” while “*the same change has a corresponding disincentive effect on the other agents whose endowments have been reduced*”. The results of the present study first show how the progressive exclusion of the social category of assignees from groundwater not only led to poverty, but also, indirectly, to the emergence of highly mobile lessees able to capitalize on these assignees while practicing intensive horticulture. In Iqaddar, a small minority of lessees with mining strategies was shown to be responsible for 33% of groundwater withdrawals. Second, investors who were attracted to agriculture through state subsidies now use more than 50% of the total annual groundwater withdrawals. Neither group has shown any interest in cooperative action around sustained groundwater use. The first group is highly mobile and moves on when the land is exhausted or groundwater becomes inaccessible. The second group maintains its access to groundwater by regularly deepening the tube-wells. In addition, by making groundwater depletion happen, they progressively crowd out competing

smallholders. The group of investors is clearly able to take up leadership on issues related to agriculture and groundwater use, as they have good sociopolitical connections. However, for the time being, their collective action is not focused on regulating groundwater use, but rather on negotiating with the state to provide alternative water resources (surface water from a dam under construction about 100 km away). The only other category that could be interested in cooperative action around groundwater is former assignees, but this category is progressively excluded from groundwater and does not have the political clout to engage in discussions with the water authorities on groundwater regulation. In sum, groundwater depletion did not start due to inequalities in the access to and use of groundwater, but the increased inequalities over the past 10 years accelerated and exacerbated the groundwater depletion. Groundwater use in the study area thus doubled in less than 10 years

The complexity involved in institutionalizing laws to sustain groundwater use is thus linked to the progressive exclusion from access to groundwater of those farmers with a long-term interest in groundwater use, to increasing short-term economic importance of groundwater of entrepreneurial farmers and to the low incentives of these actors to engage in collective action on conservation measures. In the same way in Spain, the farmers' lobby opposition to the implementation of groundwater laws (Mukherji and Shah, 2005) is the indirect consequence of inequalities in access to groundwater, because any restrictions on withdrawal must involve powerful farmers, who have their own lobbies, and for whom considerable economic interests at stake. Moreover, authorities have shown little willingness to control the exploitation of groundwater, which enables economic growth, as increasingly evidenced by substantial, and perverse, subsidies to promote intensive agriculture (De Stefano and Lopez-Gunn, 2012). In the presence of such inequalities, it is very difficult if not impossible to come up with solutions to counter groundwater depletion, and any regulations based on the existing power relations to alleviate the groundwater depletion will probably exacerbate and extend existing inequalities by progressively reinforcing the power of large-scale farmers to the detriment of other groundwater users (Cullet, 2012).

### **3.4.2. Processes of dispossession and marginalization**

Access to and the use of groundwater resources are notoriously unequally distributed in groundwater economies in many regions of the world, including South Asia, South and Central America, Europe and North Africa (Amichi et al., 2012; Bhatia, 1992; Lu et al., 2014; Prakash, 2005). Hoogesteger and Wester (2015) identified four different processes of "dispossession and marginalization" leading to such inequalities: (1) richer farmers crowding out smallholder farming systems when water tables go down, (2) the increased control of industrial farming over groundwater leading to depletion with the agro-industries moving on when the resource is depleted, (3) reallocation of water from agriculture to cities, and (4) diffuse pollution of groundwater in over-pumped aquifers (salt intrusion, pollution etc.) affecting specific categories of farmers. All four processes were shown to be at work in this study. The first process has been documented in many areas around the world. Competition for water due to declining water tables led to the exclusion and marginalization of a significant number of farmers, who do not have the money to deepen their wells (Reddy, 2005; Sarkar, 2011). The present study showed how in two irrigated areas in semi-arid North

Africa, 38% (Ouarizane) and 48% (Iqaddar) of the farmers were progressively excluded from access to groundwater over a period of more than 40 years. Those excluded are mostly smallholders without the social and financial capital to obtain access to and use of groundwater (Kuper et al., 2016). This exclusion was only explicitly linked to groundwater depletion as the groundwater use accelerated over the past 10 years. The process of dispossession and marginalization was extremely rapid and brutal—in Iqaddar, for instance, 48% of the dug wells ran dry during this period.

The second process, linked to the promotion of entrepreneurial farming, has been analyzed in the water justice literature and highlighted recent agricultural policies favoring “*transfers of water from supposedly less to more productive uses, and more specifically from lower-value food crops to high-value export crops or industries*” (Zwarteveen and Boelens, 2014). This raises ethical concerns linked to the resulting socioeconomic differentiation, but this article argues that this policy shift also contributes to groundwater depletion. When resources are highly productive, this often leads to increased use of these resources, as the recent water productivity debate has shown (e.g. Batchelor et al., 2014). These uses then become so vital that it is very difficult to regulate groundwater use in social and economic terms. In the present study, groundwater was mainly used for the production of high-value crops such as fruits and vegetables—in Iqaddar, for example, 53% of the groundwater was used for the production of peaches, plums and grapes. Entrepreneurial agriculture is so profitable that farmers have no difficulty following the declining water tables by deepening their tube-wells. In addition, these farmers received considerable subsidies to install irrigation facilities and fruit trees. Indirectly the state thus subsidized the groundwater depletion, while proclaiming at the same time the need for sustainable groundwater development by avoiding overexploitation. The paradox is even more pronounced when one considers that groundwater depletion served the expansion of subsidized intensive agriculture aimed at obtaining maximum profits and disdainful of the protection of groundwater resources.

In the present study, the third process —transfer of water from agriculture to the cities— was shown to be a much more complex process than the general direction indicated by Hoogesteger and Wester (2015). In Ouarizane, priority allocation of surface water for drinking water was indeed shown to have caused considerable marginalization of farmers. However, this marginalization only occurred when the reallocation of surface water was combined with a rigorous restriction on groundwater access. In Iqaddar, there was, on the contrary, a transfer of groundwater from the cities to agriculture. The use of the confined aquifer was initially mainly reserved for drinking water; however, it turned out to be impossible to shield this resource from agricultural users and drinking water providers had to pull out of this aquifer by reverting to the use of surface water. This was probably harmful for groundwater regulation as the drinking water companies were likely excellent allies to construct a long-term plan for groundwater use. Finally, the fourth process played a role in Ouarizane, as in some places the groundwater has been shown to be very saline (up to 25 dS/m; Bouarfa et al., 2009), which naturally created unequal access to groundwater, forcing the concerned farmers to revert to rain-fed agriculture and livestock.

### **3.4.3. Linking planned depletion to rural development options.**

There are very fundamental differences in the aims and scope of groundwater economies as they developed around the world. Mukherji and Shah (2005), for instance, differentiated Asia's groundwater economies (Bangladesh, China, India, Pakistan), where "*all of it is in the hands of millions of farmers scattered across this vast landscape*", and countries like Spain where "*unlike South Asia, groundwater here is used mostly to grow high-value export-oriented crops such as tomatoes, olives and grapes*". In North Africa, the situation is perhaps more mixed, as both smallholders and entrepreneurial farmers obtained access to groundwater, although there is a clear trend towards the concentration of groundwater use in the hands of capital-owning farmers. In Iqaddar, since the 2005 land reform privatizing access to land, investors gained access to land and groundwater to develop high-value crops. The results of the present study also underline the importance of groundwater for local communities in facing the different agrarian transitions. Over a period of 40–50 years, only small-scale farmers able to maintain access to groundwater were able to avoid the well-trodden track to poverty. However, groundwater became increasingly viewed by the state as a means for promoting entrepreneurial albeit unsustainable agriculture. In the absence of effective regulation of groundwater access and use, the depletion of groundwater "by default" led to mining strategies (lessees), exclusion of (former) assignees and thus poverty, and to land and water concentration in the hands of the subsidized few. The latter farmers created wealth and employment for as long as the groundwater reserves lasted. It does not seem realistic to come back to the use of renewable rates of groundwater use, at least in the short term. Staying trapped in the official "overexploitation" discourse while practicing a *laissez faire* policy will lead to groundwater depletion without handling the socioeconomic and environmental implications of the existing inequalities. This paper therefore argues that it may be more interesting to link groundwater use more explicitly to rural development options, including the promotion of rural livelihoods, encouraging entrepreneurial farming and employment. In so doing, the choice of depleting the aquifers may still be the same, as it is difficult to envisage a decrease in groundwater use in the short term, but on the one hand the lifetime of the aquifer may be (slightly) extended, and on the other hand groundwater use can be more effectively used for the development of the rural territories concerned.

### **3.5. Conclusion**

The results of this study show that a user perspective of groundwater depletion is useful to identify the individual contributions of groundwater use and understand the possibilities for cooperative action of users of these common pool resources. Knowing how much is withdrawn, where, and by whom helps clarify the complexity of the governance challenge (Shah et al. 2003), as well as the socioeconomic and environmental implications of inequality in groundwater use. This article shows that from a user perspective, overexploitation is not a helpful term, as it black-boxes a diversity of uses and users as well as processes of dispossession and marginalization. Advances in groundwater modeling have contributed to knowledge enhancing of the groundwater resource assessment and the response of groundwater dynamics to increased groundwater use leading to groundwater depletion.

However, the socioeconomic comprehension of groundwater uses has received much less attention, although this comprehension is vital to understand (1) the future response of users to declining groundwater conditions, which will be crucial for sustainable development, and (2) the respective interest and incentives of different social categories of farmers to contribute to groundwater management and therefore, the possibilities for cooperative action of users of these common pool resources.

### **Acknowledgements**

This study was carried out in the framework of the research project “Groundwater Arena” (CEP S 09/11), financed by the French National Research Agency.

---

## **Chapitre 4.**

**Prosperer, survivre ou sortir : Destins  
contrastés des agriculteurs de la  
“Groundwater economy” dans la plaine du  
Saïs au Maroc**

---

#### *Chapitre 4. Prospérer, survivre ou sortir : Destins contrastés des agriculteurs de la ‘Groundwater economy’ dans la plaine du Saïss au Maroc*

Ce chapitre a été soumis à la revue Agricultural Water Management :

Ameur, F., Kuper, M., Lejars, C., Dugué, P., (soumis). Prosper, survive or exit: contrasted fortunes of farmers in the groundwater economy in the Saïss plain (Morocco). Agricultural Water Management.

La GWE est souvent présentée permettant la transition économique et sociale à des millions de petites exploitations agricoles de par le monde. Dans une logique de continuité avec le chapitre précédent, l'objectif de ce quatrième chapitre est de montrer que la GWE génère aussi une différenciation socioéconomique des exploitations agricoles, en particulier dans un contexte de baisse des nappes souterraines. En effet, pendant que certains s'enrichissent, d'autres abandonnent la course de l'utilisation de l'eau souterraine de plus en plus profondément enfouie.

Dans un contexte d'utilisation individuelle de l'eau souterraine et de l'informalité qui caractérise les processus de production (cf. Amichi et al., 2015), le statut économique de l'agriculteur est difficile à cerner. Il est parfois déduit par la taille de l'exploitation ou par l'appartenance ethnique pour qualifier la différenciation socioéconomique des exploitations agricoles (Bhatia, 1992 ; Bhattarai et al., 2001). Ici, nous montrons que la taille de l'exploitation ne peut être à elle seule explicative du processus de différenciation socio-économique. En effet, dans une tendance de baisse continue des niveaux piézométriques des nappes souterraines ajoutée à une intensification agricole, le capital financier a pris le dessus sur le facteur terre comme facteur de différenciation socioéconomique entre exploitations agricoles. Les agriculteurs les mieux dotés obtenant des revenus importants ont provoqué une situation de crise hydraulique (baisse des nappes et tarissement des puits), et de volatilité des prix sur des marchés agricoles. Cette double contrainte devient un facteur de risque dans les processus de production contemporains, dans lesquels les exploitations familiales sont piégées en raison de leurs vulnérabilités face à l'accès aux marchés et aux eaux souterraines. C'est désormais le facteur capital qui permet d'entrer dans la GWE et surtout d'y rester. Les exploitants familiaux déplorent aujourd'hui le choix d'intégrer cette GWE qui a causé la rupture avec des pratiques paysannes (délaissement des systèmes d'élevage, par exemple) et tentent désormais de renouer avec cette activité d'élevage qui est certes pénible, mais peu risquée.

La compréhension des trajectoires différenciées des agriculteurs dans la GWE permet d'enrichir le débat sur les stratégies de renouveau rural pour éviter les risques d'effondrement de la GWE d'une part et de repenser les actions à mener pour gérer les ressources en eau souterraine, d'autre part. Cette compréhension socio-économique des mécanismes de la GWE nous informe sur comment se construit la situation sociale, matérielle et économique des différentes catégories d'agriculteurs et leur interaction avec les ressources en eau souterraine. Elle élargit aussi le débat sur les liens réciproques existants entre les inégalités structurelles d'accès et d'utilisation et la surexploitation des eaux souterraines.

## **Prosper, survive or exit: contrasted fortunes of farmers in the groundwater economy in the Saïss plain (Morocco)**

Fatah Ameer<sup>1,2,4</sup>, Marcel Kuper<sup>1,2</sup>, Caroline Lejars<sup>1</sup>, Patrick Dugué<sup>3</sup>

1. CIRAD, UMR G-EAU, 34398 Montpellier, France,
2. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, B.P. 6206 Rabat Instituts, Morocco
3. CIRAD, UMR Innovation, 34398 Montpellier, France
4. AgroParisTech, Paris, France

### **Abstract**

In North Africa, the development of groundwater-based irrigation enabled agricultural intensification and market-oriented production. Groundwater use was also often said to alleviate smallholder poverty. However, there is growing evidence linking the expansion of groundwater-based agriculture with increasing socioeconomic inequalities in a context of declining water tables and rapid agrarian change. This paper analyzes the contrasted fortunes of different categories of farmers participating in the groundwater economy, depending on access to other resources including land, capital and labor. The study was conducted in a 3,910 ha area in the Saïss plain (Morocco), where rapid agrarian transformations took place with the arrival of investors attracted by state subsidies and the possibility to carry out intensive groundwater-based agriculture. The study began with interviews with key informants to determine the role of groundwater use in farm trajectories. Then, an inventory was undertaken of all farms and of all wells and tube-wells in the study area. Next, the groundwater use per farm type was determined on a sample of 24 farms. Finally, the socioeconomic differentiation of farms was determined, based on the inequalities in access to groundwater, land, labor and financial capital. The results revealed contrasted fortunes of farmers involved in the groundwater economy. The boom in the groundwater economy benefitted entrepreneurial and well-endowed farmers who made intensive use of groundwater, while the effects of their overexploitation of groundwater fed the marginalization of family farmers. The results show that capital has replaced landownership as the dominant production factor, thereby re-qualifying what is a ‘small’ farmer. Capital is not only required to obtain access to groundwater, but also to deal with the more risky agriculture frequently conducted in the groundwater economy. This leads to the exclusion of small family farmers who may quit the groundwater economy poorer than they entered it. The urgent need to control access to and use of groundwater in the face of declining water tables has little chance of producing results if socioeconomic inequalities remain unaddressed.

**Key words:** Groundwater overexploitation, socioeconomic differentiation, inequalities, capital, farmers, Morocco.



## 4.1. Introduction

Water is crucial to the livelihoods of nearly one billion rural poor engaged in irrigated agriculture worldwide, as it is one of the most important keys to alleviating poverty and enhancing growth (Blanco-Gutiérrez et al., 2011; De Fraiture and Giordano, 2014; Gebregziabher et al., 2009; Giordano and de Fraiture, 2014; Hanjra et al., 2009a; Namara et al., 2010). In many semi-arid and arid areas, groundwater-based irrigation represents the most secure and reliable access to irrigation and has enabled the intensification of existing farming systems and the introduction of high-value crops (Shah et al., 2003; Zhang et al., 2014). The *groundwater economy* has attracted many different social categories of farmers seeking to improve their income, a social transition, or are simply struggling to sustain their livelihoods (Mukherji, 2006; Shah, 2010). In South Asia, poor and marginal farmers are well “*represented in terms of ownership of groundwater assets*”, while many others gained access to groundwater through indirect informal mechanisms, such as water markets (Mukherji and Shah, 2005). On the contrary, in other countries like Spain, groundwater has served “*mostly to grow high-value export-oriented crops*” (Mukherji and Shah, 2005).

While groundwater was often viewed as a socioeconomic “good” and a source of “well-fare” in many parts of the world, intensive groundwater use can also be a socioeconomic “bad” leading to “ill-fare” through depletion of aquifers, especially when the richer farmers who grab the resource out-pump the poor farmers who are unable to deepen their tube-wells (Hoogesteger and Wester, 2015). For instance, in a semi-arid region in Algeria, Amichi et al. (2012) explored how inequalities in access to depleting groundwater contributed to socioeconomic differentiation of farms. The study showed that the majority of farmers with no access to groundwater remained trapped in poverty, while more recently installed wealthier investors with more social power drove a land concentration process. Individual access and the absence of control of groundwater use has frequently depleted aquifers and resulted in blatant inequalities (Ramón Llamas and Martínez-Santos, 2005; Srinivasan and Kulkarni, 2014). In such situations, groundwater depletion may become a driver of chronic poverty, and farmers lose their potential exit route and the mechanism required to escape poverty, which “*would therefore have a significant adverse impact on income levels*” (Shah, 2010).

In the recent past, there has been renewed interest in the question of how to address poverty reduction through irrigation development (Namara et al., 2010; Shah and Singh, 2004). The creation of wealth often does not alleviate poverty in irrigation areas, and additional policy interventions are required to minimize the differential distribution of social and economic benefits across farmers (Bhattarai et al., 2001; Jayaraman and Lanjouw, 1999). Indeed, it would be naïve to think that rural poverty could be tackled only by improving access to groundwater by the poor, when poverty is one outcome of complex interactions between access to water and other resources like land, capital, and credit; social and cultural relations; and depends on institutions and policies (Hussain and Hanjra, 2004). Although irrigation helps reduce poverty, smallholders often remain poor because their land holdings small, they have large families, are highly dependent on agriculture, have poor access to infrastructure

and markets, and limited opportunities to improve their living standards (Hanjra et al., 2009b). State investment to enhance agricultural economic growth can help alleviate poverty. However, when inequality, which undermines social cohesion, is prevalent, poverty is transmitted across generations (Green, 2012). These continued inequalities may constrain the scope for further poverty reduction from economic growth, and jeopardize the impact of policy interventions (Jayaraman and Lanjouw, 1999). Moreover, the focus on global economic growth to achieve sustainable poverty alleviation often leads to neglecting current socioeconomic inequalities, which in turn, are the fundamental causes of the reproduction of poverty (Cling et al., 2004). The sustainability issue crops up anew when escaping poverty is at the cost of unrestricted access to groundwater (Suresh and Raju, 2014). Dealing with situations of declining water tables in the face of atomistic groundwater use by different categories of farmers is not easy. Shah et al. (2008), for instance, showed how in Gujarat, some marginal farmers lost their access on water markets due to the reduction in the supply of energy, as the government was looking for ways to manage groundwater demand and improve agricultural water management. Falling water tables may, therefore, frustrate poverty alleviation (Kemper, 2004).

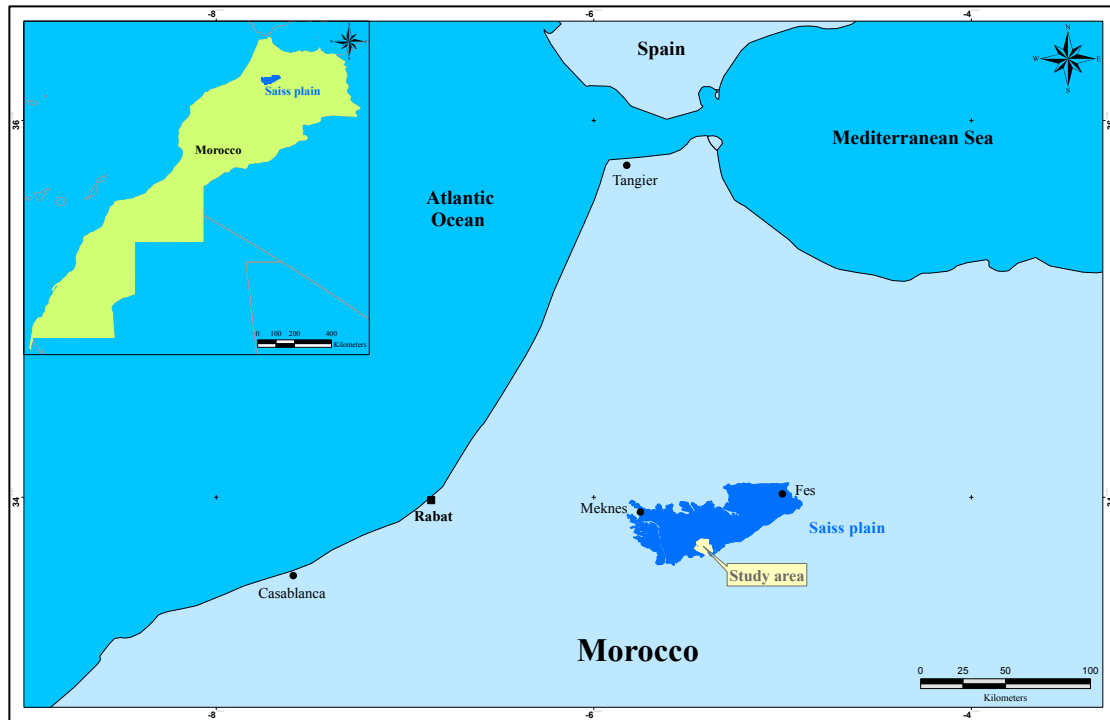
In regions that depend on groundwater based irrigation, some farmers have managed to escape from what is called “old poverty”, which was related to limited access to productive resources and subsistence farming (Rigg, 2006). However, success has been shared disproportionately, as farmers with more financial ability to access groundwater increased their farm income, whereas smallholders with limited financial capacity were more often left behind (Adams and He, 1995; Harriss-White and Janakrajan, 1997; Wang et al., 2015). Farming systems with the highest potential to generate incomes are also those with the highest barriers to entry, which remain generally concentrated in the hands of well-endowed farmers who have the capital to engage with high-value and market-oriented agriculture (Rigg, 2006). The economic euphoria made possible by groundwater use was thus often reserved for medium and large-scale farmers, confirming the role of the financial capital in the process of producing inequality (Piketty, 2013). In many cases, intensive groundwater use accelerated socioeconomic differentiation among farmers (Amichi et al., 2012; Prakash, 2005). This was sometimes compounded when large-scale farmers’ powerful lobbies succeeded in capturing most financial support provided by the state (Namara et al., 2010). It is not surprising that increasing socioeconomic differentiation is often linked to inequality in the distribution of productive resources (Bhattarai et al., 2001; Prakash, 2005). As pointed out by Kuper et al. (2012), private groundwater use has limited redistributive capacity. Moreover, if no financial capital is available to make use of the water, having access to groundwater does not automatically produce wealth. When access to groundwater is physically possible, but does not fulfill its potential due to lower water productivity or the inability of farmers to make the required infrastructural investments and bear the costs of intensive agriculture, this is referred to as economic water scarcity (Namara et al., 2010). These farmers are often obliged to sell or lease their lands to wealthier actors in order to gain access to groundwater, in reverse-tenancy configurations, thereby losing their power of decision over their own land as well as their income from it (Colin, 2013).

This article analyzes the process of socioeconomic differentiation of different categories of farmers who engaged in the groundwater economy. The objective is to understand how access to groundwater changed the pathways of different types of farms depending on access to other resources like land, capital and labor. The article shows how certain social categories of farmers gained considerably through their access to groundwater, while others barely survived or even had to quit with ‘immiserizing’ effects, i.e., they were worse off than they were before entering the groundwater economy (see Shah, 2010) in a context of declining water tables and volatile agricultural markets. To investigate the dual nature of the groundwater economy, inclusive for some and excluding for others, a case study was undertaken in the Saïss plain in Morocco, where groundwater use started in the 1980s and where the real boom began in the 2000s. Different categories of farmers co-exist, often competing but also cooperating in their access to different production factors. The rapid development of irrigated high value crops was catalyzed by an intensive entrepreneurial model, largely implemented by newcomers (investors and lessees) in agriculture, who were often attracted by state subsidies. The existing small family farms, mostly former members of agrarian reform cooperatives who benefited from land reforms 25 years ago, developed strategies to obtain access to groundwater and capital to adapt to droughts, declining water tables and the volatility of market prices. This article highlights the process of land concentration by investors, the current mining of land and water by lessees, who amass resources to obtain wealth, and the way former cooperative members who escaped ‘old’ poverty when they obtained access to land and farm machinery through agrarian reforms, got trapped in ‘new’ poverty, which appears to be a by-product of collapsing agricultural prices and groundwater depletion.

## **4.2. Methodology**

### **4.2.1. The study area**

The case study was carried out in a 3,910 ha area of the Saïss plain in Morocco, 20 km to the southeast of the imperial city of Meknes (figure 11).



*Figure 11. The study area in the Saïss plain*

Average rainfall in the Saïss plain is 500 mm/year, enabling rain-fed cultivation of cereals and forage crops over extensive areas. Cattle raised for milk and meat exert little pressure on groundwater resources, as cattle raising relies on a mix of rain-fed and irrigated forage crops and imported feed concentrate (Sraïri et al., 2016). Sheep farming is mainly based on grazing. Irrigated agriculture (principally horticulture and fruit trees) is mainly based on pumping groundwater. The Saïss aquifer system comprises two superimposed and connected aquifers, an unconfined shallow phreatic aquifer and a deep Liassic confined aquifer (Laraichi et al., 2016). According to Ministry of Agriculture and Fisheries statistics, in 2012, an estimated 91% of irrigated land in the plain, representing more than 45,000 ha, depended on groundwater use. Until the 1980s, groundwater access was limited to a few big farms, then local farmers started digging shallow wells (40 to 45 m in depth), which gave them access to the low yielding phreatic aquifer at little cost to irrigate their small plots. Since 2000, the expansion of high-value market-oriented agricultural production is mainly based on groundwater use through more sophisticated irrigation systems: deep tube-wells (up to 250 m in depth) that exploit deep confined Liassic aquifers, associated with drip irrigation systems that have enabled farmers to intensify increasingly large areas of irrigated agriculture.

The rapid development of groundwater-based irrigation is also a consequence of the Moroccan agricultural policy strategy, which is supported by the ambitious Green Morocco Plan (GMP) adopted in 2008 (Fofack, 2015). This plan promotes high value added crops (fruit trees, in particular) by subsidizing private investment in general, and irrigation in particular. Two particular constraints to agricultural intensification were identified in this plan: water scarcity and the complex nature of land ownership. In accordance with the GMP, the Moroccan government thus adopted a new long-term water saving program (National

Irrigation Water Saving Program), aiming at developing micro-irrigation. Second, the state liberalized public land tenure (agrarian cooperatives and state farms) in order to favor private investment. From 2006 on, land markets gained prominence on public land, and it became possible to sell the land officially (through a “release” decree), even though the prices were very high (between 25 000 and 35 000 € per ha). These public policies fueled the groundwater access race, mainly via deep tube-wells (Ameur et al., 2017).

#### **4.2.2. The emergence of new actors on public land**

Different categories of farmers are present in the study area (table 6), which had been colonized by settlers at the time of the French protectorate (1912-1956). This land was converted into public land after Independence, farmed through state-led domains. Part of this land (2 590 ha) was progressively redistributed to the former laborers of the colonial farms and then state-led farms, which were grouped in agrarian reform cooperatives. Since their creation, and despite successive agricultural policy reforms, the results obtained by agrarian reform cooperatives in enhancing the livelihoods of its members have been mitigated. Before the 1990s, when management of the cooperatives was controlled by the state and, for example, rotation of rain-fed crops was mandatory, the resulting low net farm incomes did not allow the members of the cooperatives to make the necessary investments in agriculture. After individual land distribution in the early 1990s, each *member of the cooperative* obtained a land use right to 9-13 ha. Gaining access to groundwater, which was considered an “open” resource, was perceived by the members as a possible way of escaping from state control and furthering their own strategies to enhance their livelihood.

However, in the absence of the necessary financial capital, access to groundwater was limited to shallow dug wells, and cooperative members were quickly confronted with problems of low yielding wells due to groundwater depletion. Despite having a relatively large farm (9.5 ha on average; see table 6), in 2014, only on average 41% (3.9 ha) of it was irrigated. Relations on these family farms have moved towards more individualization with family members dividing the farms into several smaller farms, but the family remains sacred and farming strategies often gravitate around the common interests of the family, in particular the transmission of land to the next generation. Nevertheless, some cooperative members sold or leased out part of their land to investors for various reasons, including obtaining rent from their land that would be more profitable than cultivating rain-fed crops, or the conversion of land capital into financial capital to be able to engage with more intensive forms of agriculture. Some cooperative members were unable to survive and sold all their land. At the time of writing, 50% of the agrarian reform lands are in the hands of newly arrived actors: *investors* (31%) and *lessees* (19%).

Since the 2006 decree, the land belonging to the agrarian cooperatives has been undergoing privatization, and an economic cleavage is occurring as a result: newcomers - investors and lessees – who have more financial capacity than the former members of agrarian cooperatives, cultivate high value crops and are more competitive on the market (Lejars et al., 2017).

Table 6. Actors, farm size and the type of farming systems in the study area

| Actors                     | Number of farms | Cultivated area (ha) |     |       |      | Farms with access to groundwater |                |                              | Production systems   |
|----------------------------|-----------------|----------------------|-----|-------|------|----------------------------------|----------------|------------------------------|--|
|                            |                 | Total                | Min | Max   | Mean | Number                           | Mean size (ha) | Irrigated area per farm (ha) |  |
| Former cooperative members | 141             | 1 088                | 1   | 16    | 7.7  | 64                               | 9.5            | 3.9                          | Diversification: horticulture, rain-fed crop and livestock |
| Lessees                    | 55              | 466                  | 2   | 32    | 8.5  | 48                               | 8              | 7.1                          | Specialization in intensive horticulture                   |
| Medium investors           | 123             | 981                  | 1   | 66    | 8    | 53                               | 11.9           | 7.6                          | Specialization in fruit trees                              |
| Companies                  | 2               | 1 375                | 249 | 1,126 | 687  | 2                                | 687            | 606                          | Specialization in fruit trees/vineyards                    |

To secure access to groundwater, investors and lessees invested in deep tube wells. Fifty-three out of 123 wealthier medium investors (Table 6) rapidly joined the groundwater economy to grow fruit trees (and grapes), both of which require secure access to groundwater by tube-wells and guaranteed access to electricity to operate submersible pumps. The remaining 70 investors, who recently gained access to land, plan to install tube-wells. In most cases, investors delegate the work to a farm manager and are known for their absenteeism, which can be explained by the wide range of their investments, agriculture being only one among other activities, including trade, industry, and public works. Concerning the land base (Table 6), these new investors compete with the former cooperative members, who were previously protected by their land use titles. The *lessees* aim to make quick profits with the least possible investment through short-term projects. They gain access to land through leasing and practice intensive agriculture by installing deep tube-wells. Through reversed tenancy processes, the lessees can practice the “scorched earth policy” on farms owned by former members of cooperatives who do not have the power to impose more equitable and sustainable arrangements on their lessees. They generally move on to other plots, once they have exhausted the soil. Admittedly, they possess the smallest land base (Table 6), but their specialization in horticulture makes them the largest producers of onions and potatoes in the study area. This explains that almost the entire surface area leased is dedicated to intensive groundwater-based horticulture.

Outside these cooperatives, two large-scale *agribusiness companies* leased former state-managed land to create vineyards and start fruit production. The former state-led large-scale farm in the area was considered very opulent with existing high-quality infrastructure inherited from colonial times. The state held on to this large farm, which comprised 1 375 ha (Table 6), and did not distribute it to the cooperatives. Later, the farm was leased to two big Moroccan investors who had the necessary capital and were socially powerful thanks to a public-private partnership. The fruit is processed and packaged on the farm for sale on

national and international markets. In contrast to the lessees, these wealthy investors can maintain the level of these considerable investments. Almost the entire surface area of both farms are currently irrigated through groundwater.

#### **4.2.3. Research Approach**

First, historical information was collected in 30 open interviews with former members of agrarian reform cooperatives and state agents to analyze agrarian changes related to state reforms and the key role of the groundwater access in fueling the emerging dynamics. The aim of these surveys was to analyze changes in farming systems, as well as in access to land and groundwater.

Second, a survey was conducted of the 321 farms in the study area, which cover 3 910 ha, and are owned by different social categories of farmers: agri-business companies leasing state farms, medium-scale investors, lessees, and former cooperative members (Table 6). Farmers' profiles, the type of land access and the farming systems, were inventoried and integrated in a geographic information system. Regarding access to groundwater, 430 wells and tube-wells were identified, but only 165 tube-wells and 75 dug wells were functional at the time of the survey. Data were obtained on the history and on the physical parameters (installation date, depth, energy source) of the wells and tube-wells. Based on changes in groundwater access and monitoring of irrigation practices during the cropping year 2013-2014 (see Massuel et al., 2017, for methodological details), trends in groundwater use by the different social categories of farmers were identified.

Finally, 24 representative farms were selected (17 assignees, 4 lessees and 3 investors) for a detailed technical-economic study based on three criteria: the type of farmer, the type of access to groundwater (tube-well or well) and the farming systems practiced (arboriculture, horticulture, forage crops, cereals). Next, by interviewing farmers, cropping patterns and crop rotations, the surface areas of plots were determined for the period 2005-2013, and depending on production strategy, the production cost, yield and sales price of each crop were obtained in interviews. These data enabled calculation of the net farm incomes. The net farm income is the gross farm income minus the production cost and the depreciation of farm equipment. The gross farm income represents the sum of the sales of crops and livestock products. The production costs are all expenses, including livestock feed, seeds, fertilizers, labor, and pumping cost. For each of the main crops (onion, potato), it was necessary to determine the production costs for each individual farmer, as the farming practices varied considerably. The depreciation costs related to the cost of farm equipment (tractor, drip irrigation system, tube-well) and to the land purchase were estimated after subtracting the subsidies granted. In family farms, the family workforce is part of the production costs as in these farms, especially for irrigated crops that are practiced with associates, irrigated agriculture is a source of income for family workers.

To understand the distribution of net farm income in the selected sample, the Gini coefficient (Atkinson, 1970) was calculated for two years: 2005, as a reference year before the start of land privatization, and 2013, making it possible to determine the changes that had occurred in the interval. The Gini coefficient is a statistical dispersion measure of net farm income in a

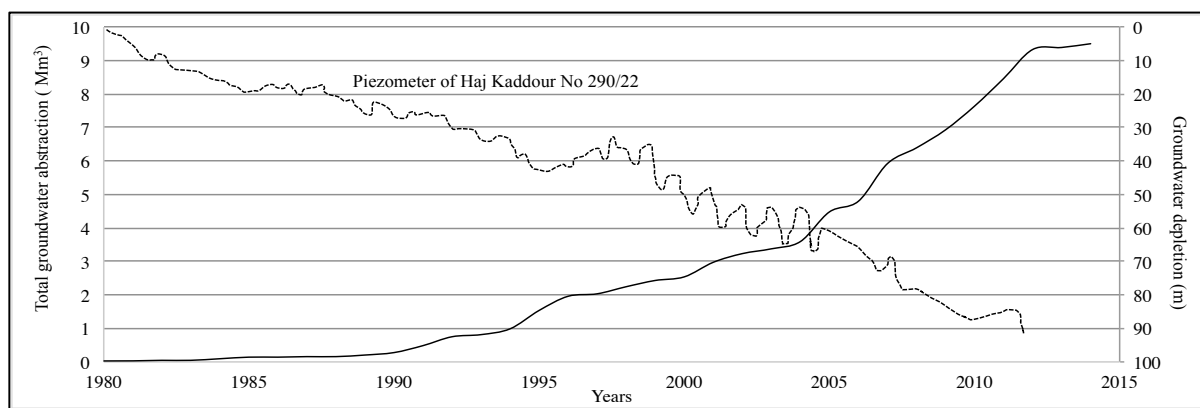
given sample of farms used to estimate change in income inequalities between two points in time. Given the constraints on acquiring data (no formal data were available on the farms, the existence of undeclared informal farms), it was very difficult to obtain the necessary information on all the identified farms, which is why particular care was taken to be sure the sample was representative.

### 4.3. Results

#### 4.3.1. Groundwater use: deconstructing the overall pressure on groundwater resources to understand farm differentiations

##### *General trends in water level and groundwater use in the study area*

According to the four-stage historical framework of the rise and fall of groundwater economies in South Asia (Shah et al., 2003), the groundwater economy in the Saïss is in the third stage. After a first phase of rapid agricultural growth supported by access to mechanized tube-well technology, leading to a second phase that can be qualified as a “Groundwater-based agrarian boom”, the Saïss is now experiencing early symptoms of groundwater over-draft. This phase is characterized by continuous groundwater depletion due to intensive use of groundwater for irrigation. As shown in figure 12, groundwater abstraction by irrigated agriculture has doubled in the last decade and the water level of the confined aquifer has dropped by 90 m over the past 40 years, a trend that was accentuated in the last decade. The lively land market that emerged after the privatization of public lands favored the boom in groundwater-based irrigated agriculture with the arrival of investors interested in arboriculture and lessees interested in horticulture. Groundwater depletion led to socio-economic externalities linked to the skewed ownership of tube-wells and the declining yields of shallow dug wells, as will be shown in the next section.



*Figure 12. General trends in the use of groundwater and falling water table levels in the study area. Piezometer levels were monitored by the Sebou River Basin Agency and the groundwater abstraction in the study area was identified during the present study*

In contrast to observations by Llamas and Martínez-Santos in Spain (2005), in our study area, the number of farmers has increased in recent years (from 201 in 2005 to 287 in 2014 in cooperatives undergoing privatization), mainly due to the arrival of investors and lessees. Moreover, with the emergence of intensive agriculture and access to deep more abundant

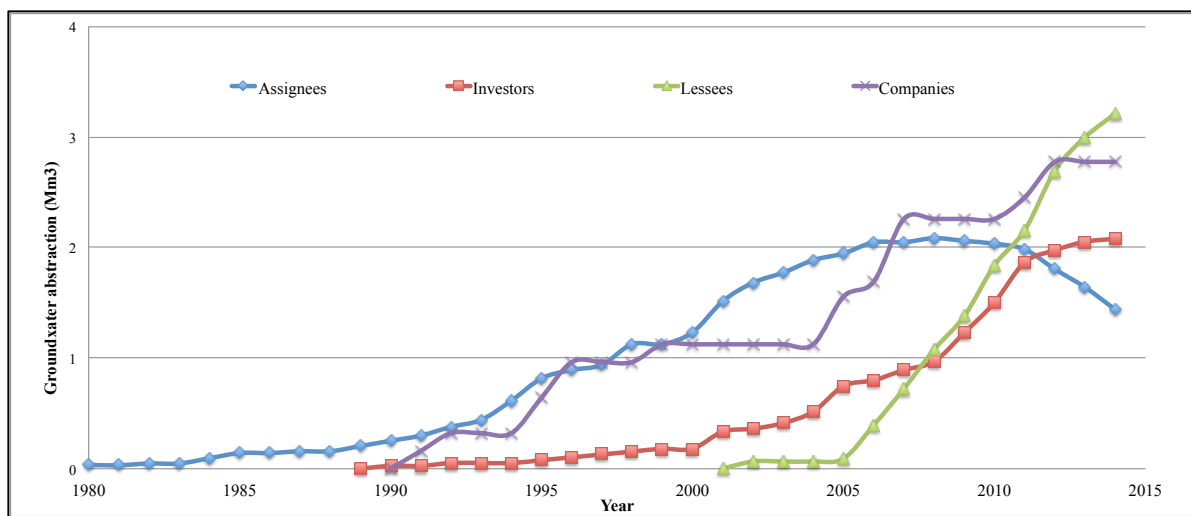


aquifers, there is a growing need for labor. Even members of urban populations come to work as farm hands in rural areas, and most of the small farms provide the family workforce to investors and lessees. Medium investors in particular often need an experienced workforce, as they have very limited expertise in agriculture and rely on hired know-how. This type of multi-activity allows the former cooperative members to sustain their diversified farming systems, as off-farm labor makes up for income losses linked to the lack of water and non-buoyant agricultural markets. This has also resulted in a population overload on farmland, as the use of groundwater created employment (Shah, 2010).

The recorded trend of groundwater use since 2005 is much higher than during the 25 preceding years because of the liberalization of public land by the state, which acted as a catalyst in attracting investors in agriculture, thus stimulating the groundwater economy.

***Disaggregating the general trend of groundwater depletion to understand physical and economic water scarcity***

To understand the changes in and the respective contributions of the different social categories of farmers to the ongoing groundwater depletion, the groundwater use for each social category of farmers was disaggregated. Figure 13 shows how groundwater depletion by some made victims of others.



*Figure 13. Differentiated groundwater use by actors involved in the groundwater economy*

The emerging more capitalist actors (investors, companies) obtained access to the deep Liassic aquifer and rapidly increased the volume of groundwater abstracted to irrigate fruit trees. From 2006 on, the emergence of land markets on the former agrarian cooperatives, and the increasing number of investors led to a considerable increase in groundwater abstraction (figure 13). In 2014, the contribution of investors to groundwater use was estimated at 2.1 Mm<sup>3</sup> thereby overtaking that of the former members of the cooperatives. In 2014, investors were responsible for 22% of total groundwater use for only 25% of the total land. Their preferred access was through tube-wells (72 tube-wells for 53 investors) but they also deepened and equipped 14 abandoned wells present when they purchased the land. In this way, these medium-scale investors (average farm size 11.9 ha) ensured their hydraulic

security, as they often owned more than one tube-well. Their contribution to groundwater abstraction is likely to increase as they install new tube-wells every year, while connecting their pumps to the electricity grid. In 2014, they only irrigated 404 ha (41% of their total owned area), but this is likely to double in the next 2-3 years.

Lessees occupied only 12% of the land, but withdrew the most groundwater: 34% of the total volume withdrawn, i.e. 3.2 Mm<sup>3</sup> for 342 ha of irrigated area in 2014. Lessees generally aim for short-term profit, through shifting horticulture: *“I take the soul out of the land and I leave”* (explained one lessee, interviewed in 2014). Lessees installed 44 tube-wells that were used intensively. As one of them told us: *“I’m sad when I see the pump motor is switched off”*. Lessees were thus the largest groundwater users both per hectare and relative to the whole study area. They made intensive use of land for high water-consuming crops (onions and potatoes). Even when they have funds, they are not interested in purchasing land, as their intensive practices require frequent changes of land. They deal with problems of soil quality and water scarcity through their mobility, and with the fluctuating market prices by storing their products. They are responsible for horticultural over-production, as they produce about 60% of the onions and 80% of the potatoes produced in the study area.

As mentioned earlier, two big agri-business companies took over a 1 375 ha state farm with a long-term lease. This farm was well equipped with farm machinery, including cold storage and processing facilities. These two capitalist investors renewed the old fruit tree orchards, and strengthened their access to groundwater with high performance tube-wells (more than 100 m<sup>3</sup>/h). The discharge of one tube-well belonging to these big investors represents the discharge of more than nine of the wells used by former cooperative members. Admittedly, water consumption per hectare is lower than that of the lessees, because the fruit tree orchards and vineyards in which they are specialized consume less water than horticulture (5 400 and 1 500 m<sup>3</sup>/ha respectively). However, almost the entire farm area of these companies is irrigated. They thus represented 55% of the total irrigated area (1 212 ha) in the study area, and abstracted 2.8 Mm<sup>3</sup> (29% of the total extracted volume) through only 19 sophisticated tube-wells.

Former cooperative members currently are responsible for only 15% (figure 13) of total groundwater withdrawal used for 245 ha of irrigated land. Most of their land is not, or no longer, irrigated. Whereas their total abstracted volume reached a peak in the mid-2000s after nearly 30 years of a quest for groundwater access, their groundwater use has decreased over the last decade. The diversified farming systems they practiced, the low yielding wells they possessed and the low irrigation volume per hectare explain their limited groundwater use. However, the decrease in the groundwater use was mostly due to the combined effect of the physical and economic water scarcity. Indeed, these farmers abandoned 86 shallow dug wells over the last decade. The main reason was water scarcity, as the wells were drying up. However, the lack of financial resources and/or the low market prices discouraged others from cultivating groundwater-based crops, which were costly and viewed as risky. Twelve functioning tube-wells were not being used, although there was no lack of water. The land sales after land liberalization could also explain this decrease. Those who had taken too many risks with irrigated agriculture and those with very low net farm incomes often quit farming

and sold their land: this was the case of 21% of the members of the cooperative. In addition, 91% of those who remained sold at least one hectare over the last 10 years. The reason for the partial sale of land was often to pay back loans they contracted to obtain land titles. Paradoxically, these farmers had always qualified the agrarian cooperative they thus left as a “cooperative of problems”, while heading for a perilous privatization process, where the intensive use of capital prepared their exit from (irrigated) agriculture.

By disaggregating the global groundwater trend in this area, it was possible to distinguish the respective contributions of groundwater use of different social categories of farmers. Access to and use of groundwater were directly linked to state agricultural development policies that enabled investors to acquire land and promoted the entrepreneurial model of intensified agriculture, which, in turn, exerted increasing pressure on groundwater resources.

#### 4.3.2. Importance of financial capital in “success” in the groundwater economy

Figure 14 shows different trends for net farm incomes, grouped according to farm category and the respective farming system. Two main conclusions can be drawn: 1) there is an enormous difference between lessees and investors who earned between 30,000 and 50,000 €/year on their farms, and on the other hand cooperative members, whose annual income peaked at 16,000 €/year, and 2) economic differentiation also exists within this social category, as their net incomes ranged from 4,000 € to 16,000 € per year, despite the objective of the agrarian reforms to put farmers at the same starting line by providing the same access to production factors.

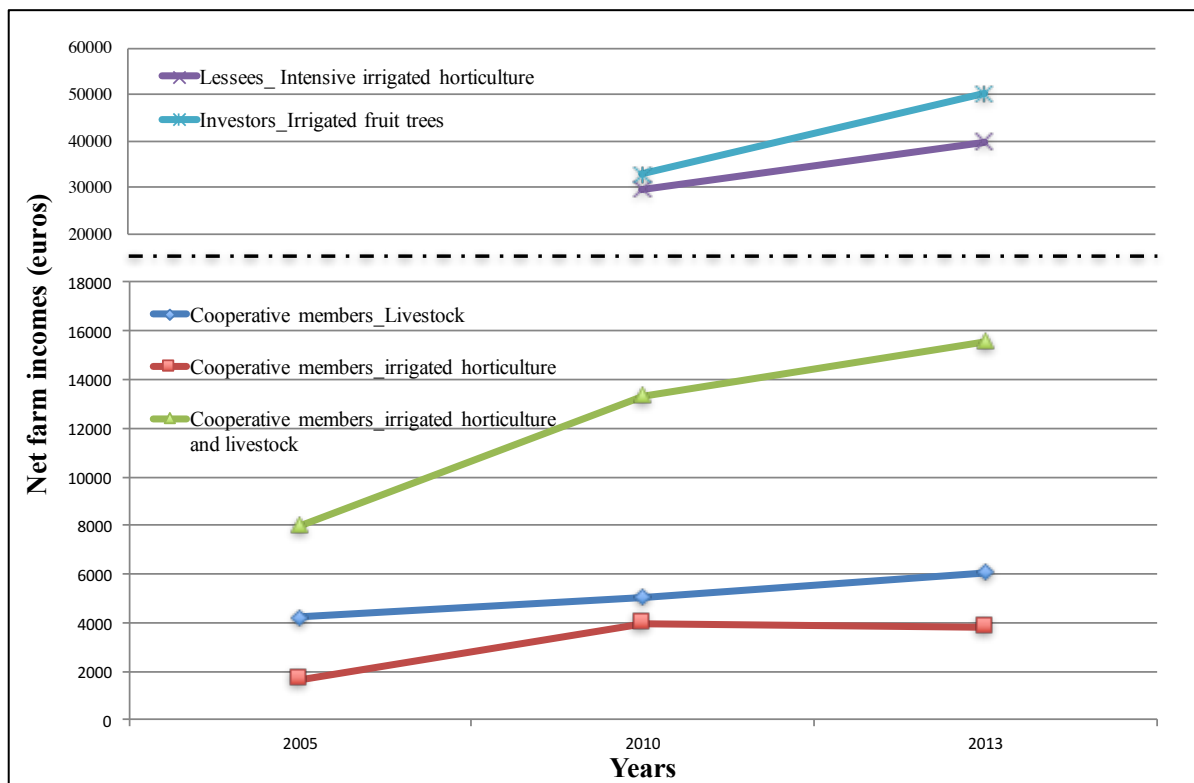


Figure 14. Net farm income trends among different social categories of farmers in the study area

The lessees, who favored a mining strategy, focused on specialized high value added horticulture (on 94% of their irrigated area). They implemented offensive farming practices with high levels of farm inputs and the intensive use of land and groundwater. High net farm incomes, from 30,000 to more than 40,000 €/year were obtained on small plots ranging from 6 to 7.5 ha in size (figure 14). This shows that the size of the farm does not (or no longer) play(s) a determining role in net farm income, i.e. farmers with small landholdings are not always the poorest farmers. Due to the intensive use of fertilizers and irrigation water, production costs per hectare can exceed 5,000 €/ha for onions and potatoes. The quantities of fertilizers range from 0.9 to 1.5 tons per hectare, which is three times more than that used by former cooperative members. As these practices are not sustainable, lessees generally leave the land after six years to rent fertile land in nearby areas. Their strategy is to obtain the highest prices for their production through high yields and traditional storage by storing the onions in stone silos. Some use storage in the near piedmont of the Middle Atlas (1,000 to 1,200 m in altitude) where relatively cool weather conditions mean products can be stored for six to eight months after harvest. In the past few years, the lessees with the highest income have extended production to these mountain areas where the rent is lower and the groundwater is shallow compared to the plain where groundwater tables are rapidly being depleted. Such opportunistic strategies allow mobile lessees to remain in the groundwater economy, as long as they continue to find fertile land to rent.

The medium investors developed a high-investment agriculture based on fruit trees. They have substantial capital assets and are often active in several sectors (industry, public works), as fruit trees take three to four years to bear fruit. One out of three farms that had adopted this model, was in full production at the time of the survey, with a yearly net farm income of 50,000 euros. The remaining two thirds of the farms had reached half of their production potential but already enjoyed relative high incomes. Although the profits from fruit trees have dropped over the last two years due to falling prices linked to the increase in produce sold in the market, it still was very profitable. This farming model was not accessible to other farmers, as it required significant investments, up to 6 000 €/ha for fruit trees. It exceeded 20,000 €/ha for table grapes grown on pergolas. The investment costs were often heavily subsidized by the state and easily accessible for investors who have an extensive social network. Since this type of agriculture is highly profitable, some investors would like to buy more land, install deeper tube-wells and extend their production, also encouraged by the fact that agriculture is, for the time being, not taxed.

The cooperative members practiced rain-fed agriculture combined with livestock, and some also cultivated irrigated crops. A farmer's son (31 years old) told us: "as long as you give to the land, the land will give to you". For those farmers who practiced rain-fed agriculture, livestock, which was mainly based on grazing and non-irrigated forage resources, was the main activity that enabled a slow increase in net farm incomes (see figure 14). To take full advantage of their land capital, irrigated agriculture was perceived as a real opportunity to boost net farm incomes. However, the cost of investing in joining the groundwater economy was very high: for example, the incomes generated by livestock in 2005 did not allow these

farmers to finance their entry into the groundwater economy. They consequently had to sell their livestock to pay to dig a well, thus de-capitalizing their farm. Depending on their strategies, which were based on their financial ability to increase net farm incomes, farm differentiation occurred as shown in figure 14.

Although most cooperative members were keen to join the groundwater economy, for some, there was no question of abandoning livestock. While they expanded their livestock, their inclusion in the groundwater economy was ensured by leasing part of their land to lessees who would pay for access to groundwater through a tube-well. At the end of the lease, the assignees then recovered the tube-well. The cooperative members who joined the groundwater economy, but managed to keep livestock, succeeded in the transition from a peasant type of agriculture with livestock to a more entrepreneurial model relying on groundwater-based irrigation. These farmers also obtained financial means from non-farm incomes, and had a considerable family workforce. Diversifying crops and livestock is a way to limit climatic and market risks. However, only a small minority of former cooperative members were able to generate sufficient incomes for a decent life. Other farmers dropped livestock and devoted their farm entirely to irrigated agriculture, but in 2015, one of these farmers told us he was disappointed with his choice: access to groundwater had declined and he had to deal with volatile prices on the agricultural markets, and as a consequence, with low farm income. His regrettable choice even had negative effects on family cohesion, as each member of the family going his/her own way, working on other farms or in other sectors. As a result, this farm abandoned irrigation, and its functioning and reproduction depended on non-farm income transferred by family members.

Groundwater use did not produce the expected miracles on most of the family farms belonging to members of the cooperative, as it produced even lower incomes than those obtained by the farmers who had expanded their livestock based on rain-fed forage crops (figure 14). Believing they would make their fortune in the groundwater economy, many sons of cooperative members even abandoned their wage-earning activities or studies in cities to return to the family farm. The groundwater economy was so tempting and apparently attractive that assignees joined in with no financial protection. Often they relied on sharecropping arrangements (the lessee providing some capital, while they provided the land; see Amichi et al., 2012) or de-capitalized their farms by selling their livestock to pay for access to groundwater. The low income generated by this category of assignees was the result of the drop in the yield of wells, which can only irrigate small plots, and these plots are often cultivated under sharecropping arrangements (i.e. sharing the profits 50-50 with their partners). It is estimated that 70% (45/64) of the members of the cooperative who joined the groundwater economy involved sharecroppers in the production process to be able to pay the costs of the inputs of irrigated agriculture. A feeling of regret prevailed among them with respect to the groundwater economy, which they initially perceived as the pathway to prosperity, inspired by the “false witnesses” i.e., the investors and lessees who succeeding in generating wealth in the groundwater economy. As a result, some even withdrew from the groundwater economy and tried to progressively reconstruct their livestock activity. From

2010 on, because of the drop in sales prices, some farmers even had negative net farm incomes. Increasingly, it appears that the groundwater economy only makes money if financial capital is available. The risk of losing money in the groundwater economy is currently so high that those who recover a tube-well often do not use it. It turned out that specializing in livestock with no access to groundwater can be more profitable (figure 14) than either unsecure access to groundwater due to the drop in the water table or secure access associated with high-risk agriculture. Moreover, we noted that farmers who replaced livestock with irrigated crops experienced falling incomes. This can be explained by the fact that livestock typically helps such farmers to get through difficult agricultural years (droughts, low market prices) or difficult periods within the year. By selling their livestock and investing in the groundwater economy (a tube-well, inputs), such farmers put their farm economy at risk.

#### 4.3.3. Thrive or dive: inequality in the groundwater economy

The groundwater economy is often presented as the best way to increase farm incomes. However, Table 7 shows that although mean net farm income increased from 3 900 € in 2005-2006 to 17 400 € in 2012-2013 due to the engagement of many farmers in the groundwater economy, the income tended to target wealthy farmers. The totaled net farm incomes of 50% of cooperative members decreased from 23% in 2005-2006 to 11% in 2012-2013 (Table 7). This concentration of wealth was mainly due to the massive entry of private investors and lessees in the groundwater economy in the late 2000s. At the other end of the spectrum, the incomes of some cooperative members were below the agricultural minimum wage (2 100 €/worker/year). These increasing inequalities are even more acute when the net farm income is analyzed per family member active on the family farm, as these family farms host the soaring rural demography. An increase in irrigated areas generating wealth, when it is inequitably distributed, does not automatically improve livelihoods. For some cooperative members, the increase in their incomes was outweighed by the increase in their cost of living.

*Table 7. Distribution of net farm incomes on the selected farms in the sample*

| Cropping year                              | 2005-2006                 | 2012-2013                     |
|--|---------------------------|-------------------------------|
| Mean net farm income (Euro/year)           | 3 900                     | 17 400                        |
| Gini index                                 | 0.40                      | 0.57                          |
| Mean of irrigated ha /farm                 | 1                         | 4,3                           |
| Distribution of net farm incomes by decile |                           |                               |
|  | Totalled net farm incomes |                               |
| Number of Farms (%)                        | (%)                       | Totalled net farm incomes (%) |
| 10   | -1                        | 1                             |
| 30   | 8                         | 4                             |
| 50   | 23                        | 11                            |
| 70   | 42                        | 23                            |
| 90   | 73                        | 63                            |

In recent years, financial capital has taken on the central role to the detriment of land capital in the production process, insofar as power is attributed to someone who possesses financial capital even with limited land capital. For example, this is the case of lessees who do not

want to buy land. They engage in sharecropping arrangements with cooperative members, who provide the land and the labor, while the lessees ensure the capital and access to groundwater by installing a tube-well. Since capital has become indispensable in groundwater-based agriculture, the lessees have got the upper hand in their relations with the (poorer) landowners, i.e. the cooperative members (referred to in the literature as reverse tenancy relations). The investors also tend to have power over cooperative members, who were obliged to sell them their land, sometimes after an inconclusive farming ‘adventure’ in the groundwater economy, and then become their laborers. Having lost money in irrigated farming and having no livestock to deal with uncertainties, made these farmers more vulnerable.

Today, the main comparative advantage of the family farms belonging to former cooperative members is their labor force, which may provide them with some power in their dealings with investors. Today labor is increasingly monetarized. As the daily net income per family worker in the family farms is lower (on average 6 €/day) than labor wages, many of them work as laborers outside the family farm, often for the investors and lessees who provide employment. This process of proletarianization did not affect the cooperative members in the same way. Those who maintained livestock and did not sell their land diversified their incomes through labor wages, whereas others became fully dependent on such wages. In the past, before the land reforms, cooperative members were landless laborers, today this phenomenon is reappearing, when some lose their land and newcomers are looking for labor.



Figure 15. Example of assignees’ sons engaged in other activities (mainly agricultural labor) to increase their income

The daily earnings of members of a family who work as farm laborers can reach 18 €/day for specific tasks and during the peak periods such as the planting and harvesting. It can be estimated that for these family workers, 40% of their annual income is earned off the family farm, and indirectly they take advantage of the employment generated by the groundwater economy. Figure 15 shows that off-farm incomes can sometimes be higher than on-farm incomes for some sons of cooperative members. One son told us: “Now, work is available for

*at least six months per year, as a laborer I earn much more than my income from our farm, I invest in sheep and my mother takes care of them*". This comment points to the diversification of income generating activities, which is becoming a common strategy used by cooperative members to cope with risk. The irrigated crops cultivated by cooperative members were mainly onions, accounting for 67% of their irrigated area and 15% of their total area. Currently, they have the impression that relying too heavily on horticulture can be fatal, and their irrigated practices were becoming increasingly defensive even when their access to groundwater was secure.

#### **4.4. Discussion: Prosper, survive or be evicted from the groundwater economy**

##### **4.4.1. The importance of financial capital in the groundwater economy**

The results of this study showed that the groundwater economy was very attractive to different social categories of farmers. It first attracted former members of agrarian cooperatives who wanted to obtain a certain autonomy from state-directed agriculture. Their sons were attracted by the possibility of more entrepreneurial forms of agriculture, in particular horticulture, and often quit their job in the city or interrupted their education. Later on, when these cooperative members and their families faced difficulties due to volatile markets and declining water tables, state-sponsored investors purchased land in the study area and invested in groundwater-based fruit tree orchards. The same difficulties also enabled lessees to obtain access to land and start short-term but highly profitable and intensive horticulture. Investors and lessees are now responsible for more than 85% of the groundwater withdrawal, thus explaining the rapid decline of groundwater levels.

The results of this study also reveal the divergent fortunes of different social categories of farmers who got involved in the groundwater economy. While, helped by the state, the investors, and the mobile lessees prospered, the cooperative members were merely able to keep their farm by renting out the land, or even had to exit by selling the land. The divergent fortunes of different categories of farmers can be explained by the fact that former cooperative members joined the groundwater economy with limited financial means. They rapidly faced low yielding wells due to groundwater depletion, which was one result of the booming agricultural dynamics of other farmers.

In the process, the groundwater economy switched from the shallow phreatic aquifer as a low-cost resource to mitigate the difficulties of former cooperative members, to the deep Liassic aquifer in which the financial capital of investors and lessees made it possible to create considerable wealth. Financial capital is required not only to pay for secure access to groundwater (including the frequent need to deepen the tube-well), but also to pay for more intensive farming systems (seeds, fertilizers, pesticides, high pumping costs), and to be able to cope with volatile prices on competitive markets. Having access to groundwater is, therefore, a prerequisite for but not a guarantee of groundwater use, as can be observed in the study area: many wells and some tube-wells were operational, but were not used by farmers who did not have the means to get involved in capital-intensive and risky agriculture. As



elsewhere, groundwater use has now ended in speculation (Shah, 2010). The generated net farm incomes are thus largely linked to the amount of capital invested in agriculture.

Prakash (2005) posited that the inequality in access to productive resources such as groundwater is built on skewed landownership. This was not the case in our study, as capital had replaced landownership as the dominant production factor. This is why in the study area, the concept of big or small as a farmer is currently dissociated from the land capital, as cooperative member Ali told us: “*The big farmers are those with deep pockets, they are currently building paradise on our land*”. According to this new perception, lessees can no longer be considered as small, ill-equipped and otherwise exploited, as tenancy configurations have been reversed (Amblard and Colin, 2009). In the study area, despite limited land assets, the lessees are the veritable drivers of the groundwater economy and are often viewed as “big” producers. In the same way, investors even on small areas built capital-intensive agriculture to finance their expansion. Since financial capital has become the main production factor, it is not odd that a cooperative member with 10 ha considered himself a “small” farmer compared to a “big” investor on 5 ha.

#### **4.4.2. The process of socioeconomic differentiation is not isolated from public policies**

Like in other developing African countries, the long-standing objectives of the agrarian reforms to break the circles of poverty were based on providing access to the land and improving the base for productive agriculture (Musemwa and Mushunje, 2012). However, in Morocco, individual farmers were grouped in state-controlled cooperatives. Rain-fed agriculture and cropping systems imposed on cooperative members produced only mitigated results. These farmers considered investment in individual access to groundwater as a way to escape state control and as a way to get into the (promising) groundwater economy. However, they did not have the financial capacity to survive in the increasingly competitive groundwater economy. The recent reforms liberalized the agricultural sector and opened it up to private investment, and public policies chose to use subsidies for drip irrigation and fruit plantations and tax exemptions to attract new farmers or investors to establish modern entrepreneurial farms (Akesbi, 2012; Bossenbroek and Zwarteveen, 2015). Today, while state subsidies are extremely popular, it is the endowed socially solvable farmers who benefit most, which helped increase socioeconomic differentiation, as shown by this study. In theory, former members of cooperatives also have access to subsidies, once they have obtained their land title. However, in practice, these subsidies target high-value agriculture, and these farmers do not have the means to valorize the assets obtained in this way. In this context, by opening the way for private investment in agriculture in the form of strategic alliances, the recent policy reforms opposed agricultural economic growth and sustainable rural development (Faysse, 2015), although it has often been assumed that rural poverty issues and resource depletion hamper the rural development options and “*necessarily forces unpalatable policy trade-offs*” (Scherr, 2000). This is especially the case when groundwater depletion gives rise to rural poverty, and leads to social inequity and conflict (Janakarajan and Moench, 2006). In such a situation, poorer farmers entering an unfair competition are often the losers (Karami and Hayati, 2005). There is a tendency to consider smallholders as less economically efficient and wasteful of water due to their use of traditional irrigation techniques (Dugué et

al., 2014). By subsidizing and conferring legitimacy on private investors, who are considered to be highly efficient, around 30% of the precarious cooperative members sold or leased all their land and have been replaced by endowed investors. This change in orientation in the agricultural policies has led to economic institutions and social arrangements in which the distribution of public services fostered the wealthy, politically more influential, while the poorer groups ended up with unexploited talent (World Bank, 2005). These family farms - which are now a cross between inherited peasantry and acquired entrepreneurial skills - have the ability to engage with a difficult economic environment by diversifying survival oriented livelihood strategies. By reducing all the existing diversity to the simple equation of family farming versus “big” entrepreneurial farming, public policies failed to channel the energies of existing family farms towards rural development. In addition, these policies attracted the unexpected arrival of lessees who were clearly violating sustainability principles through their highly intensive and mobile agriculture. This is how investors appropriated the land and also obtained the largest share of groundwater, and how lessees operated as “water vampires” (a popular image used in the area to describe lessees “sucking up” groundwater) to the detriment of a significant share of the poor farmers now undergoing economic exclusion. The emerging new actors have the financial influence to invest in land, groundwater access and in high value crops and the ability to obtain state subsidies by using their social capital. This form of agriculture has become almost inaccessible for small farmers, as they do not have financial solvability.

The present study shows that the continued decline of groundwater tables is increasingly related to the intensive use of groundwater, especially by newcomers “blessed” by the state. Paradoxically, those most responsible for groundwater depletion are the least affected by their consequences as they have access to the best technology to secure access to groundwater in the long term and are the most encouraged to do so by the state. However, continuing to pursue the current agricultural economic growth in this way means the increased ecological and economic risks are being not tackled and the resulting inequalities simultaneously serve to produce capital assets by and for investors and a class of laborers to run the farms built on the use of these assets.

#### **4.5. Conclusion : an unsustainable groundwater economy**

The policies of agricultural intensification based on the presumption of agricultural economic development, imply that there is no limit to the expansion of access to and use of groundwater. The cost of this policy enthusiasm is increasing socioeconomic inequalities, continuous groundwater depletion and price volatility in markets. While groundwater preservation lags behind, the socioeconomic inequalities of the groundwater economy are multiplied due to inequality of access to and use of groundwater, from which an increasingly high proportion of the rural population is excluded. The groundwater economy produced mixed fortunes for the different categories of farmers who engaged with it. It represents misfortune for the under-considered class of family farmers, who practice farming systems diversification, a model that can ensure the preservation of groundwater, unlike the systems practiced by newcomers specializing in irrigated and intensive agriculture. Today, policy

making needs to be informed about the way new socioeconomic inequalities are produced in the groundwater economy, and how they undermine groundwater management. This will help achieve the doubly needed change to more sustainable irrigated agriculture: enhancing rural livelihoods while reducing the pressure on the natural resources.

### **Acknowledgments**

This study was carried out in the framework of the ‘Groundwater Arena’ research project, financed by the French Agency for Research (ANR CEP S 09/11).

---

---

## **Chapitre 5.**

**Outils pour un débat sur le rôle des jeunes  
agriculteurs dans une agriculture en transition  
dans le Saïss (Maroc)**

---

---

## *Chapitre 5 : Outiller un débat sur le rôle des jeunes agriculteurs dans une agriculture en transition dans le Saïss (Maroc)*

Ce chapitre a été publié sous forme d'article dans la revue des Cahiers d'Agricultures :

Ameur F, Quarouch H, Dionnet M, Lejars C, Kuper M, 2015. Outiller un débat sur le rôle des jeunes agriculteurs dans une agriculture en transition dans le Saïss (Maroc). Cahiers Agricultures 24(6) : 379-386. 10.1684/agr.2015.0786

Les apports des sciences traditionnelles sont devenus « mous » dans le contexte des décisions « dures » à prendre. Par cette conclusion, Funtowicz et Ravetz, (1994) appellent à renouveler notre questionnement sur l'incertitude et la complexité des enjeux environnementaux. Selon ces auteurs, la participation publique est devenue décisive pour l'évaluation des enjeux et la construction des politiques de gestion.

Bien souvent, il ressort des programmes impliquant une démocratie participative une pluralité de problèmes en raisons de différentes contraintes et intérêts de chacun des participants, ce qui rend le passage à l'action difficile. Cependant, les démarches participatives permettent de mettre en situation cette hiérarchie de problèmes et les relations existantes entre eux. A travers les jeux de rôles par exemple les joueurs observent l'impact de leurs actions et celles de leurs voisins sur la ressource. Au cours de ce type d'exercice, les joueurs entrent en interaction, et en se connectant au monde réel, ils développent un espace de liberté plus important que l'espace de jeu, ce qui permet une réflexion commune sur le problème et sa solution (Daré, 2005).

Après avoir analysé les chaînes de causalités amenant la surexploitation des eaux souterraines, nous avons mobilisé les approches participatives pour interroger, mais surtout pour co-constituer une réflexion sur les enjeux avec les acteurs locaux. La démarche participative a été construite en trois phases : 1) ateliers de diagnostic participatif, 2) jeux de rôles et 3) atelier multi acteurs. Ces démarches participatives permettent de confronter les perceptions individuelles des acteurs pour converger vers des réflexions collectives et la visualisation commune des enjeux à venir (Imache et al., 2009). Les jeux de rôles sont souvent conçus pour tester des hypothèses, répondre à des questions scientifiques ou pour observer le comportement des participants (Guyot et Honiden, 2006). Bien que ce n'est qu'un monde ludique, les enjeux posés sont bien réels dans lesquels les participants mettent des stratégies de jeu inspirées de leur monde réel. Nous allons par cette démarche, conçue et mise en œuvre dans notre zone d'étude, montrer comment au fur et à mesure le débat a permis de re-problématiser la question de l'eau comme la racine de l'arbre à problèmes. Dans ce chapitre nous allons également montrer comment notre démarche a été appropriée par les jeunes agriculteurs qui émergent désormais comme une catégorie d'acteurs qui cherchent à se faire entendre et incorporer le développement rural.

## **Outiller un débat sur le rôle des jeunes agriculteurs dans une agriculture en transition dans le Saïss (Maroc)**

Fatah Ameer<sup>1,2</sup>, Hassan Quarouch<sup>2</sup>, Mathieu Dionnet<sup>3</sup>, Caroline Lejars<sup>1,2</sup>, Marcel Kuper<sup>1,2</sup>

1. Cirad UMR G-Eau 73, rue Jean-François Breton 34398 Montpellier cedex 5, France
2. IAV Hassan II Madinat Al Irfane BP 6202, Rabat, Maroc
3. Lisode, 2512, route de Mende 34090, Montpellier, France

### **Résumé**

Le Saïss au Maroc voit le développement d'une agriculture arboricole et maraîchère intensive mise en œuvre par des investisseurs, basée sur l'exploitation de l'eau souterraine, à côté d'autres formes d'agriculture plus diversifiées. Ces mutations interrogent le devenir agricole de la zone et interpellent les jeunes agriculteurs qui sont actifs à la fois sur les nouvelles fermes et sur l'exploitation familiale, dans un contexte de baisse des niveaux des aquifères et de saturation des marchés agricoles. L'objectif de l'article est de contribuer au débat sur la différence de logiques intergénérationnelles dans la conduite d'une agriculture en transition. Nous avons outillé une démarche, associant ateliers de diagnostic participatif et jeu de rôles, pour impliquer une diversité locale d'agriculteurs et d'acteurs institutionnels dans une réflexion sur l'avenir agricole dans deux coopératives de la réforme agraire. Nos résultats montrent des comportements très différents dans le jeu comme dans la réalité. Les attributaires de la réforme agraire développent des stratégies défensives et refusent de « jouer » sans certitudes sur l'accès aux ressources productives. Leurs fils jouent dans le monde réel pour développer une agriculture entrepreneuriale et dans le monde virtuel pour explorer les possibilités d'évolution sur les exploitations familiales diversifiées tout comme sur de grandes fermes arboricoles. L'esprit entrepreneurial des jeunes ruraux couplé à leur ancrage territorial constituent des atouts majeurs pour le développement des territoires, à condition de reconnaître leur statut de jeunes repreneurs et d'accompagner leurs projets.

**Mots clés** : démarche participative ; eaux souterraines ; jeu de rôles ; jeunes agriculteurs ; Maroc.

**Thèmes** : eau ; économie et développement rural ; méthodes et outils.

### **Abstract**

#### **Designing a debate on the role of young farmers in a context of agrarian change in the Saïss (Morocco)**

Groundwater use enabled the development of intensive horticulture and arboriculture alongside more diversified farming systems in the Saïss (Morocco). Young farmers actively engage with these different farming systems. The rapid agrarian changes raise questions about the future of farming in a context of declining groundwater levels and saturated agricultural markets. The aim of this article is to contribute to the debate on the differences in intergenerational logic in changing agricultural practices. We developed a participatory approach to involve the diverse types of farmers and institutional stakeholders in a debate on the future of farming and on the role of young farmers in two agrarian reform cooperatives.

Our results show that the different age groups behave very differently from one another, both in the game and in real life. The farmers of the agrarian reform have defensive strategies and refuse to “play” without being sure of access to productive resources. Their sons play both in the real world to develop entrepreneurial farming and in the virtual world to explore the possibilities for change, on diversified family farms and on large entrepreneurial farms. Although young farmers will shape tomorrow’s agriculture, their projects are not currently taken into account by policy. It is therefore important to rethink public policies to support them.

**Key words:** groundwater; participatory approach; role-playing games; young farmers; Morocco.

**Subjects:** economy and rural development; tools and method; water.

## 5.1. Introduction

Au Maghreb, l'utilisation des eaux souterraines constitue depuis 30 ans une voie privilégiée pour développer une agriculture intensive. L'engouement pour cette voie est le fruit de stratégies individuelles des agriculteurs pour l'accès aux eaux souterraines, soutenues par des politiques agricoles ambitieuses. L'utilisation des eaux souterraines a induit des transformations agraires rapides avec l'arrivée de nouveaux agriculteurs investisseurs, une intensification des systèmes de cultures et le développement de cultures à haute valeur ajoutée (Amichi et al., 2012). Ce développement entraîne aussi une différenciation socio-économique entre exploitations agricoles évoluant sur un même territoire et une juxtaposition de différentes formes d'agriculture, qui relèvent de logiques entrepreneuriales et/ou paysannes (Dugué et al., 2014; Van Der Ploeg, 2014)

Dans le Saïss au Maroc, cette juxtaposition est particulièrement flagrante. De nouveaux investisseurs obtiennent un accès privilégié au foncier (Mahdi, 2014) et captent des subventions dans le cadre du Plan Maroc Vert. Ils sécurisent leur accès à l'eau souterraine en réalisant des forages profonds, pilotent leur irrigation avec des systèmes goutte à goutte et orientent leurs exploitations vers une monoculture arboricole. À l'inverse, les exploitations des agriculteurs locaux de type familial diversifient leurs activités. En fonction de leur accès à l'eau, elles font du maraîchage sur de petites surfaces, des céréales et investissent dans l'élevage dans un contexte de baisse des nappes, mais aussi de volatilité des prix du marché (Dugué et al., 2014). Ces mutations territoriales interrogent le devenir agricole de la zone, la conjugaison entre les différentes agricultures, mais aussi la vision de l'avenir au sein même de l'exploitation familiale entre les jeunes et leurs aînés.

Pour certains jeunes, ces transformations rapides sont une opportunité pour acquérir un nouveau savoir-faire et une légitimité pour s'impliquer dans les décisions de l'exploitation familiale pour en changer les logiques et s'engager dans une agriculture plus entrepreneuriale, en particulier celle orientée vers le maraîchage qui offre une haute valeur ajoutée. Dans les exploitations les moins dotées en facteurs de production, les jeunes peuvent être amenés à travailler comme ouvriers agricoles dans de grandes exploitations. Ils vendent leur force de travail pour subvenir aux besoins de l'exploitation familiale, mais ils acquièrent aussi des savoirs techniques qu'ils tentent de développer et d'adapter au sein de l'exploitation familiale (Dugué et al., 2014). Cependant, les difficultés d'accès à la terre, à l'eau et aux subventions freinent les projets et étouffent les ambitions de ces jeunes agriculteurs (Bouzidi et al., 2015). Les hiérarchies sociales existantes sont aussi un frein important limitant les projections futures des jeunes (Bossenbroek et Zwarteveen, 2015). Leurs aînés souhaitent éviter les risques et diminuer la dépendance au marché en adoptant des stratégies défensives. Les jeunes négocient alors continuellement leur place dans le système famille-exploitation et naviguent entre logiques entrepreneuriales et paysannes.

L'habileté des jeunes agriculteurs dans un tel processus d'apprentissage continu, se matérialise par la contextualisation et l'adaptation des savoirs obtenus dans les grandes fermes au contexte des exploitations familiales. Cette capacité à croiser ces deux modèles est décrite par Milone (2009) comme un *turnover* générationnel qui connecte ces modèles



d'agriculture. En hybridant pratiques paysannes et entrepreneuriales, les jeunes arrivent à monter des projets agricoles pour accéder, souvent de façon informelle, aux facteurs de production les plus nécessaires et générer des fonds supplémentaires en dehors de l'exploitation familiale, mais qui peuvent aussi conduire cette exploitation familiale à de nouvelles dimensions entrepreneuriales (Petit et al., 2015).

L'objectif de l'article est de contribuer au débat sur la différence de logiques intergénérationnelles dans la conduite de l'agriculture. Pour ce faire, nous avons construit une démarche qui implique la diversité des agriculteurs et des acteurs institutionnels sur un petit territoire dans le Saïss au Maroc dans une réflexion sur l'avenir des agricultures en transition.

## **5.2. Méthodologie**

### **5.2.1. Zone d'étude**

Depuis les années 1990, la plaine du Saïss a connu un boom agricole spectaculaire, marqué par le développement du maraîchage et de l'arboriculture, conjointement au développement de l'irrigation par les eaux souterraines. L'expansion de l'arboriculture et du maraîchage a entraîné une baisse du niveau des nappes et des prix sur les marchés agricoles (Lejars et Courilleau, 2015). Cette expansion est particulièrement observée sur les terres de la réforme agraire où le régime foncier a été libéralisé en 2006. Les attributaires de la réforme agraire peuvent désormais obtenir un titre foncier, une fois acquittée une somme relativement modeste. Cela a été suivi par un marché foncier très actif permettant à de nouveaux acteurs d'acquérir ces terres et de développer une agriculture intensive fortement soutenue par l'État. Des investisseurs aisés achètent les terres des attributaires et mettent en œuvre des projets d'arboriculture, fortement soutenus par les subventions de l'État. Des locataires accèdent à la terre à travers des contrats de location formels ou informels et développent un maraîchage intensif. Mais ces dynamiques profitent aussi aux jeunes fils d'attributaires qui peuvent s'associer ou louer des terres en complément de leurs activités sur l'exploitation familiale. L'étude se limite à deux coopératives de la réforme agraire – Errahma (36 attributaires pour 390 ha) et Ezzahra (30 attributaires pour 370 ha) dans la province d'El Hajeb. Dans un contexte de faible capitalisation des exploitations agricoles des attributaires et de forte spéculation foncière, 60 % des terres à Errahma et 49 % à Ezzahra ont changé de main au profit des investisseurs et locataires.

Les attributaires ayant obtenu un accès individuel à la terre en 1991 lors du démantèlement de la grande coopérative en cinq petites coopératives, leur accès à l'eau souterraine a d'abord été réalisé par des puits (30-50 m) captant la nappe phréatique. Le rendement des puits est relativement faible et les puits fonctionnent généralement, surtout en été, seulement quelques heures par jour. Ces dernières années, l'accès se fait par des forages (120-280 m) réalisés par des investisseurs, captant à la fois la nappe profonde du Lias et la nappe phréatique.

### **5.2.2. Démarche**

Inspirée de la modélisation d'accompagnement (Étienne, 2010) et de la scénariologie participative (Imache et al., 2009), la démarche a été développée pour questionner le devenir des agricultures de la zone. Celle-ci a consisté à réaliser un état des lieux avec les acteurs

locaux, puis à construire un jeu de rôles qui a permis d'outiller un débat sur les transformations de l'agriculture irriguée. Les objectifs de la démarche ont évolué au fur et à mesure de son développement : d'une mise en débat sur l'avenir de l'agriculture irriguée dans un contexte de juxtaposition de différentes formes d'agriculture et de surexploitation des eaux souterraines, elle s'est transformée en processus de recherche-action co-piloté par les jeunes agriculteurs sur les différences intergénérationnelles dans la conduite de l'agriculture. Notre démarche a consisté à analyser le monde réel, le modéliser à travers un jeu de rôles, puis d'utiliser le monde virtuel ainsi créé pour simuler le futur avec les acteurs concernés (Kuper et al., 2009b). L'analyse des simulations permet enfin, à travers un retour vers le monde réel, de mieux comprendre les ambitions, mais aussi les capacités des jeunes à affronter le futur, et ainsi identifier les principaux défis à relever.

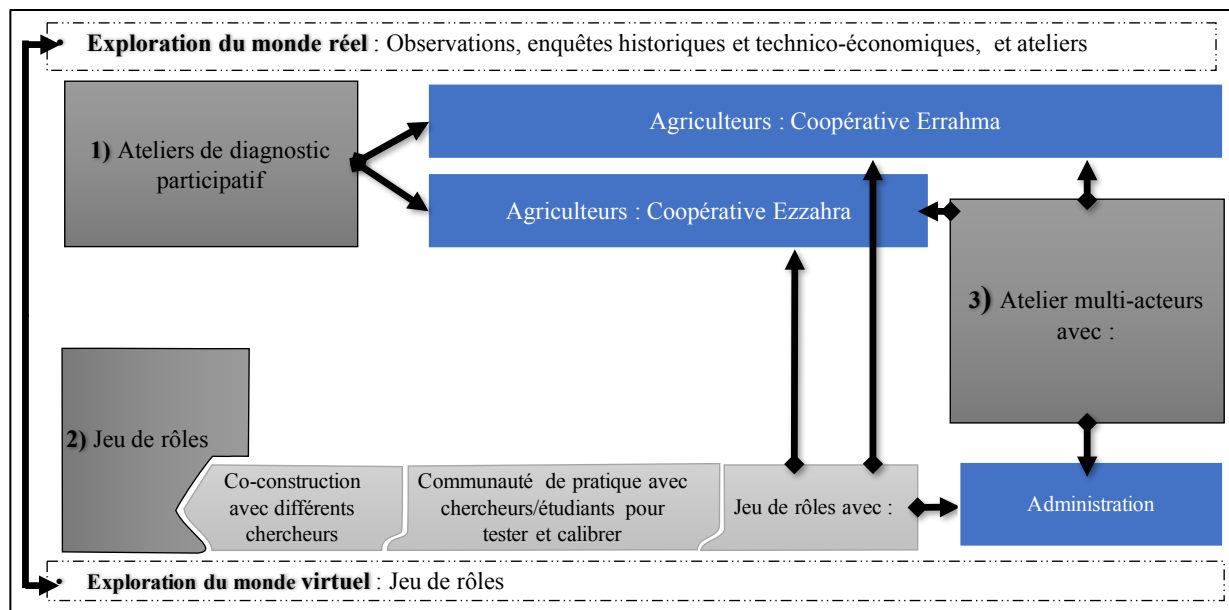


Figure 16. Schéma de l'ensemble de la démarche participative

L'état des lieux s'est construit sur la base d'enquêtes et d'observations pour identifier les différents systèmes de production caractérisant les différents types d'exploitations. Ce travail a été complété par l'organisation de deux ateliers de diagnostic participatif pour hiérarchiser les problèmes que rencontrent les agriculteurs. L'un a eu lieu à Errahma avec neuf agriculteurs (deux attributaires, un petit investisseur, un petit locataire et cinq fils d'attributaires) et un autre à Ezzahra avec 13 agriculteurs (neuf fils d'attributaires et quatre attributaires).

Le jeu de rôles a été conçu de façon à restituer notre compréhension du territoire et y situer les problématiques identifiées avec les agriculteurs. L'idée était de donner un caractère prospectif et dynamique à notre démarche en permettant aux participants de construire leurs propres stratégies, en tenant compte de la réponse du système à ces stratégies. Sept rôles d'agriculteurs ont été définis, représentant la diversité des agriculteurs rencontrés. Ils se distinguent essentiellement par la taille de leur exploitation, leur capacité de prélèvement dans la nappe et leur trésorerie initiale. Ce jeu permet aux participants d'endosser le rôle

d'agriculteurs types de la zone. Ils se projettent sur trois campagnes agricoles, soumises à des variations climatiques qui influencent différemment leurs capacités de prélèvement dans la nappe en fonction d'un abaque. Chaque production est achetée à un prix calculé chaque année en fonction d'un abaque (Lejars et Courilleau, 2015). Ce prix varie en fonction de la production totale calculée à la fin de chaque campagne. Avant d'être utilisé sur la zone d'étude, le jeu a été testé en France et au Maroc au sein d'une communauté de pratique de concepteurs de démarches participatives (Dionnet et al., 2013). La structure ainsi que l'explication des règles de simulation ont été présentées dans le guide d'utilisation du jeu de rôles Beçla'Maa accessible en ligne (<http://www.lisode.com/nos-publications/>).

Le jeu de rôles a été mis en œuvre avec deux groupes d'agriculteurs dans les deux coopératives (figure 17) et un groupe d'acteurs institutionnels, agents de la direction provinciale de l'agriculture d'El Hajeb, qui veillent à mettre en place des projets agricoles dans le cadre du Plan Maroc vert.



Figure 17. Jeu de rôles avec les agriculteurs et récapitulatif des discussions lors du débriefing

Enfin, un atelier multi-acteurs a permis la rencontre entre les agriculteurs et l'administration afin de conduire un dialogue sur l'avenir agricole et les modalités d'intervention de l'État. L'organisation de cet atelier a été motivée par notre souhait de confronter les différentes visions issues des sessions de jeu, mais aussi par une demande claire des jeunes fils d'attributaires. Ils voulaient savoir comment avoir accès aux subventions qu'ils n'arrivent pas à atteindre, alors qu'ils voient l'arrivée massive d'investisseurs mobilisant ces mêmes subventions.

Durant ces différentes rencontres, nous avons aussi invité les investisseurs et les locataires à participer. Un seul investisseur a suivi toute la démarche grâce à sa disponibilité, mais aussi à sa forte intégration sociale. Les autres investisseurs sont généralement peu présents sur leur exploitation et n'ont pas marqué d'intérêt pour la démarche. Un seul petit locataire, également fils d'attributaire, a participé au processus. Deux autres grands locataires ont été contactés. Ils n'ont pas participé au processus à cause de leur mobilité au quotidien, mais aussi parce qu'ils ne souhaitent pas venir assister à un débat sur la surexploitation des eaux

souterraines dont ils se sentent en partie responsables.

### **5.3. Résultats**

#### **5.3.1. Les ateliers de diagnostic participatif : la baisse tendancielle des prix comme problème central**

Lors des ateliers de diagnostic, les deux contraintes spontanément soulevées par les agriculteurs participants étaient le manque de débouchés sur les marchés, notamment les marchés internationaux, et la multiplicité des acteurs intermédiaires dans le processus de commercialisation des productions maraîchères. On observe en effet une baisse tendancielle des prix de vente des produits maraîchers (Lejars et Courilleau, 2015).

La problématique de la surexploitation des nappes et de la baisse du niveau de l'eau dans les puits et les forages n'a pas fait débat lors des ateliers. C'est seulement lorsque nous avons introduit la question que les agriculteurs en ont parlé. Selon eux, elle est induite par l'augmentation des superficies irriguées et des rendements, due à la diffusion du goutte à goutte permettant d'irriguer plus de superficies avec la même force de travail et par l'augmentation du nombre de forages dans la zone qui rend très difficile l'accès à l'eau par les puits : « *On avait un puits, les forages ont commencé dans la zone, on n'a plus d'eau dans le puits* » (fils d'attributaire). Selon les participants, les grands producteurs maraîchers et les arboriculteurs de la zone seraient responsables de cette situation.

#### **5.3.2. Le jeu de rôles : l'eau est re-problématisée**

Le jeu de rôles a d'abord montré que la volatilité et la tendance à la baisse des prix sur le marché sont les principales sources de fragilité économique. Abdelatif, par exemple, locataire d'une parcelle de 5 ha dans le jeu et arboriculteur dans la réalité, dépose son bilan dès la deuxième année suite à la chute des prix de l'oignon (tableau 8). L'impact de la volatilité des prix est beaucoup plus marqué pour les petites exploitations.

Tableau 8. Récapitulatif de l'évolution de la trésorerie, consommation en eau et investissements réalisés pour les deux séances de jeu

| Rôle      | Superficie (Ha) | Groupe | Trésorerie initiale | Trésorerie finale | Investissements                              | Consommation en eau |     |
|-----------|-----------------|--------|---------------------|-------------------|--|---------------------|-----|
|           |                 |        |                     |                   |  | Début               | Fin |
| Mustafa   | 12              | G2     | 210                 | 729               | Vente de 4 ha, forage, 8 ha gâg, bétail (20) | 5                   | 7   |
|           |                 | G1     | 210                 | -7                | Puits, bétail (10)                           | 8                   | 2   |
| Abdeltif  | 5               | G2     | 220                 | 220               | Bétail (10)                                  | 10                  | 4   |
|           |                 | G1     | 220                 | -80               |  | 10                  | 0   |
| Abdelkrim | 10              | G2     | 250                 | 680               | 1 ha gâg                                     | 10                  | 5   |
|           |                 | G1     | 250                 | 356               | Puits  | 8                   | 6   |
| Hamid     | 15              | G2     | 270                 | -49               | S'associe avec Abdeltif                      | 12                  | 2   |
|           |                 | G1     | 270                 | 81                | 1 ha gâg                                     | 11                  | 2   |
| Abdeslam  | 25              | G2     | 850                 | 1283              | Epierrage 5 ha, 2 ha gâg                     | 30                  | 32  |
|           |                 | G1     | 850                 | 636               | Epierrage 5 ha, vente 5 ha                   | 38                  | 20  |
| Mohamed   | 80              | G2     | 2200                | 2996              | Forage, achat 4 ha, 13 ha gâg                | 105                 | 78  |
|           |                 | G1     | 2 200               | 3 333             | 3 forages, 10 ha gâg                         | 105                 | 88  |
| Mourad    | 4               | G2     | 100                 | 87                | 2 ha gâg                                     | 5                   | 1   |
|           |                 | G1     | 100                 |                   | A abandonné le jeu                           |                     |     |

La question de la rareté de l'eau a été soulevée dans un second temps, car elle vient accentuer la différenciation entre exploitations : ceux ayant un accès à l'eau par des puits sont contraints de diminuer les superficies irriguées.

Le jeu a également montré, et cela a été confirmé par les agriculteurs lors des discussions, que la pénurie d'eau profite aux grands investisseurs ayant un accès à l'eau sécurisé. C'est le cas d'Abdeslam qui a trois forages équipés de pompes électriques et qui après une première année déficitaire, vend 5 ha et réussit à renverser la tendance. Lors de la deuxième simulation, il a réalisé le meilleur profit à l'hectare. Au contraire, les deux agriculteurs (Hamid et Mourad, tableau 8) ayant un accès à l'eau souterraine par des puits ont régressé économiquement, car les rendements de leur puits ont été sévèrement affectés par la sécheresse simulée. Il devient évident pour les joueurs que la possession d'un puits est facteur d'incertitudes. L'accès à l'eau par forage est le seul moyen pour sécuriser l'exploitation contre les aléas climatiques.

À travers le jeu, la pénurie d'eau a ainsi été re-problématisée par les participants. Les agriculteurs ont attribué le manque d'eau à l'évolution rapide du nombre de forages ces dernières années, et non pas à la sécheresse, comme simulée lors du jeu. La solution souhaitée par tous est la reconversion en irrigation au goutte-à-goutte accompagnée d'un contrôle du développement des superficies. Un participant a dit : « *Tous ceux qui irriguaient en gravitaire ont déjà fait faillite, à cause des faibles rendements.* »

### 5.3.3. Le collectif en question : les jeunes très impliqués dans les réflexions collectives

Durant les différentes étapes de notre de marche, la catégorie de jeunes fils d'attributaires

était la plus présente, bien que la démarche ne les vise pas en particulier. Ils ont vu un intérêt à participer en s'appropriant la démarche en tant que moyen de dialogue et de négociation avec l'État. Ainsi, pour le deuxième atelier de diagnostic, 13 agriculteurs ont répondu à l'invitation, neuf fils d'attributaires et quatre attributaires. Les jeunes ont évoqué les problèmes communs, contrairement aux attributaires qui n'ont montré que peu d'intérêt pour cette démarche participative. Ils prenaient la parole durant les différentes réunions pour avancer leurs propres problèmes. C'est le cas du président de la coopérative venant exposer son problème de contrat avec un locataire sur son exploitation lors de l'atelier multi-acteurs avant qu'il ne soit interrompu par le jeune Zouhir qui précise, à notre place, les objectifs de la démarche.

L'atelier multi-acteurs a été perçu comme un moyen de comprendre les rouages administratifs pour accéder aux subventions de l'État. Pour ces jeunes, l'atelier était une action concrète d'échange avec l'État, notamment sur les opportunités d'accès aux subventions, sur la conduite des procédures administratives, et pour savoir comment surmonter les difficultés liées à l'accès au foncier. À la demande des jeunes participants, la démarche participative a évolué pour se saisir de la question des subventions pour l'installation du goutte-à-goutte et pour l'arboriculture, sujets de discussion traités lors de l'atelier multi-acteurs. À l'issue de cet atelier, l'organisation en collectif a été avancée par les représentants de l'État comme condition pour faciliter l'accès aux subventions. Cette proposition a été validée par les participants. Bien que le même Zouhir, par exemple, ait déjà bénéficié d'une subvention pour 5 ha en goutte à goutte, il a souhaité introduire le processus de subvention dans la démarche, car il pensait au collectif et à la dynamique de groupe.

C'est ainsi que les jeunes se sont approprié la démarche participative pour constituer une association de développement. Ils ont pris l'initiative d'organiser d'autres réunions, auxquelles nous avons été conviés. En diffusant l'information parmi leurs pairs, les participants à la démarche ont pris l'initiative d'intégrer de nouveaux jeunes fils d'attributaires. Cette association de développement bénéficie désormais d'un cadre légal de concertation pour la mise en place de petits projets arboricoles.

Nous prévoyons de poursuivre ce processus participatif par l'organisation d'une autre rencontre multi-acteurs dans laquelle nous impliquerons aussi l'agence du bassin hydraulique de Sebou en charge de la gestion des ressources en eau. Cette démarche aura pour double but d'accompagner ces jeunes dans leurs réflexions collectives et de questionner l'avenir agricole de leur territoire dans le contexte de forte dépendance à la ressource en eau souterraine menacée.

#### **5.3.4. Des joueurs et des rôles**

Dans cette partie, nous effectuons une analyse réflexive sur le jeu par comparaison entre le monde réel des joueurs et les rôles attribués lors des deux simulations.

##### ***Les jeunes entreprennent pour mieux gérer, les attributaires ne jouent pas***

Deux participants ont joué le rôle d'un attributaire ayant une exploitation diversifiée pendant les deux séances du jeu : un attributaire durant la première simulation et un jeune fils

d'attributaire lors de la deuxième simulation. Les résultats montrent l'appauvrissement de l'attributaire et une ascension économique du jeune fils d'attributaire (figure 18). L'attributaire n'a pas voulu rentrer dans la logique d'investissement liée au rôle qui lui était confié, notamment en refusant d'investir dans son exploitation. Cela correspond au comportement de l'attributaire dans le monde réel : il a vendu 4,5 sur 11ha de son exploitation, mais n'a pas réalisé d'investissements suite à cette décapitalisation valant 1 400 000 Dh (129 K€). Dans le jeu comme dans le monde réel, les attributaires restent dans une logique de sécurisation de leur capital et n'investissent pas une agriculture à risque.

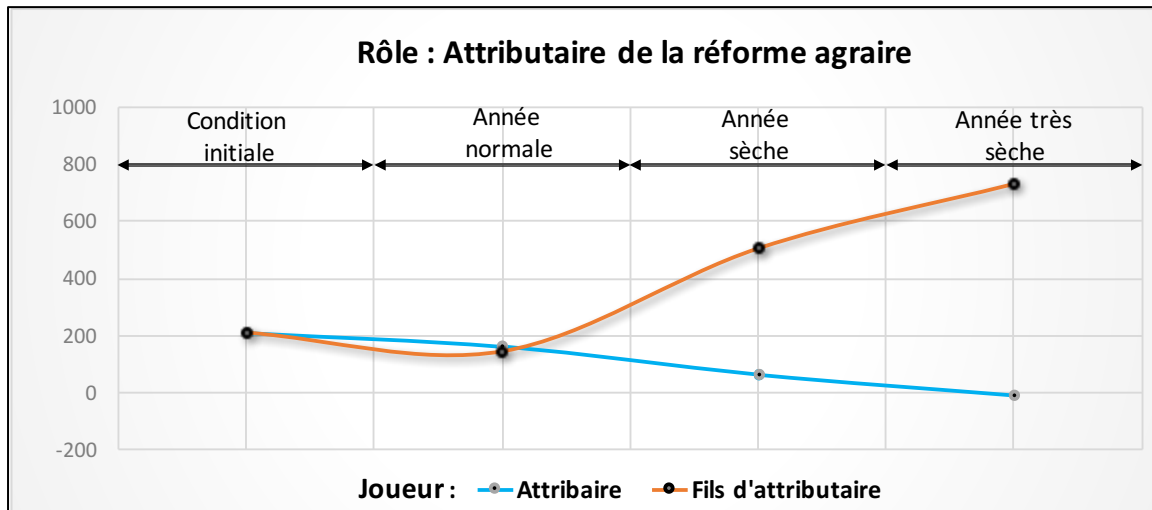


Figure 18. Évolution des revenus d'une exploitation d'attributaire gérée par un attributaire et un jeune fils d'attributaire dans le jeu de rôles

Un fils d'attributaire a aussi joué le rôle proposé et a obtenu des résultats économiques intéressants. Il est dynamique et preneur de risques dans le monde réel ; ayant accumulé un petit capital sur l'exploitation du père, il s'est associé à un autre jeune fils d'attributaire pour faire du maraîchage. Il ne cesse de prendre des risques, malgré les difficultés vécues à cause des faibles prix de vente sur le marché en 2013 et le manque d'eau en 2014 (tarissement du puits). Ne pouvant plus supporter seul les charges de production, ce jeune s'est associé cette fois-ci avec ses deux frères sur l'exploitation de son père. Si dans le jeu ce jeune a anticipé la vente de 4 ha pour pouvoir sécuriser l'accès à l'eau c'est parce que dans la réalité il a vécu les effets de la rareté de l'eau. Il a donc joué avec les moyens à disposition pour valoriser son exploitation. Dans le jeu comme dans le monde réel, les jeunes fils d'attributaires sont preneurs de risque et ont la capacité et la volonté d'entreprendre des projets face à une multiplicité de contraintes.

### ***Les investisseurs ne réussissent pas sur des petites exploitations diversifiées***

Les investisseurs, généralement spécialisés dans l'arboriculture, ne maîtrisent que très peu les autres spéculations. Dans le jeu, l'investisseur ayant endossé le rôle d'un petit producteur en diversification n'a pas su conduire son exploitation et a déposé son bilan dès la deuxième année (figure 19). Lors du débriefing, il était le seul à mettre en doute le réalisme du jeu. Dans la réalité, dans notre zone d'étude, les investisseurs spécialisés en arboriculture ne

perdent généralement pas d'argent comme il l'avait vécu dans le jeu. Ces investisseurs sont dans un processus d'agrandissement de leurs projets par l'achat de nouvelles terres et sont souvent fortement subventionnés.

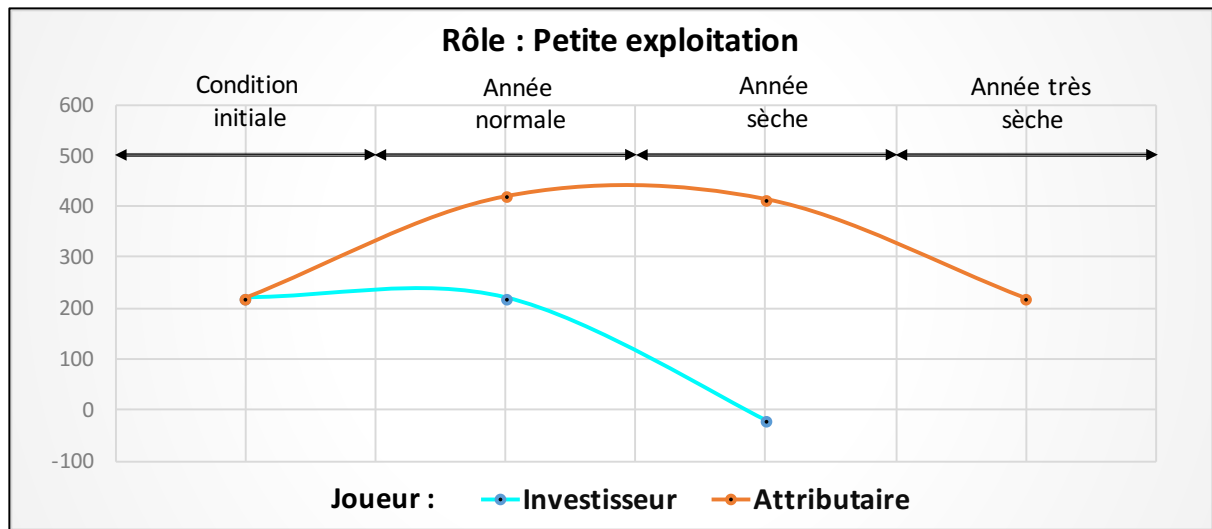


Figure 19. Évolution des revenus d'une petite exploitation gérée par un investisseur et un petit exploitant dans le jeu de rôles

Cela n'a pas empêché un fils d'attributaire et propriétaire sur les terres privées de la zone, qui a joué ce même rôle lors de la deuxième simulation, de rester dans le jeu et conduire son exploitation en adoptant l'élevage, basé sur ses propres pratiques d'élevage. Ceci montre que les exploitations familiales peuvent s'adapter aux contraintes pour rester dans le processus de production.

### ***Les jeunes fils d'attributaires gèrent bien les grandes fermes***

Les jeunes fils d'attributaires manifestent une aptitude à gérer et à endosser le rôle de grands investisseurs (figure 20). Cette situation n'existe pas réellement, mais dans le jeu, les deux fils d'attributaires se sont comportés comme de véritables investisseurs. Les bénéfices générés ont été investis dans l'extension de l'exploitation par l'achat de nouvelles parcelles, l'équipement en goutte-à-goutte et la réalisation de nouveaux forages pour sécuriser l'accès à l'eau souterraine.



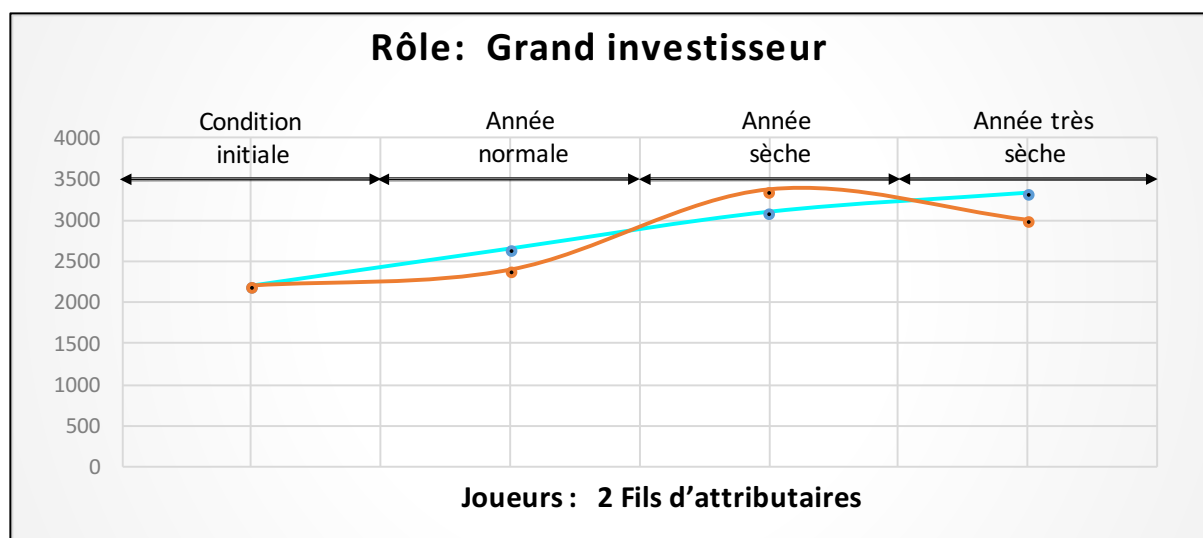


Figure 20. Évolution des revenus d'une exploitation d'un grand investisseur joué par deux fils d'attributaires dans le jeu de rôles

Cela montre l'habileté des jeunes fils d'attributaires à adopter des stratégies entrepreneuriales et adaptatives pour contrer les différents problèmes sur une exploitation familiale diversifiée, voire même pour s'aventurer dans une agriculture d'investissement, qui est dans le monde réel non exempte de risques.

## 5.4. Discussion

### 5.4.1. Une démarche participative pour permettre un débat multi-acteurs sur les défis...

Notre ambition d'impliquer la diversité des agriculteurs et des acteurs institutionnels dans une réflexion sur l'avenir des agricultures irriguées par les eaux souterraines nous a amenés à construire un monde virtuel représentant les différentes agricultures présentes sur un territoire et permettant de simuler leur évolution. L'intérêt de la démarche est relatif à sa capacité à représenter différents intérêts et stratégies sur un territoire agricole connaissant des changements rapides, tout en intégrant différentes problématiques interdépendantes, qui ne peuvent être traitées séparément. Les agriculteurs ont ainsi découvert l'agriculture de l'autre, mais aussi les conséquences de leurs propres stratégies sur le système entier, et ont ainsi été interpellés par des problèmes communs : marché, eau, accès aux subventions. La démarche a permis de revenir sur la question de la surexploitation en faisant le lien avec la prolifération des forages, l'accroissement des surfaces irriguées et la saturation du marché. La démarche a permis d'identifier d'autres problématiques telles que la différenciation socio-économique entre exploitations agricoles.

L'approche crée ainsi un référentiel commun –l'analyse de la situation actuelle– sur laquelle il devient possible de débattre du futur et des défis à relever. Ce débat a été légitime, car il aborde des problématiques identifiées par les participants tout au long de la démarche. Il trouve une certaine robustesse du fait du statut collectif de l'analyse, de sa forme multidimensionnelle, mais aussi du fait que les agriculteurs étaient concernés par les évolutions potentielles. L'étude révèle ainsi la complémentarité des outils et des approches

mobilisées qui permettent de formuler de nouvelles hypothèses (Imache et al., 2009), mais qui génèrent aussi des changements auprès des participants (apprentissage, capacités, motivations), et dont l'évaluation constitue un large champ de recherche (Rowe et Frewer, 2004).

#### **5.4.2. ...mais aussi pour préciser notre analyse des différentes stratégies intergénérationnelles dans le réel**

La démarche a révélé la difficulté pour les investisseurs de conduire l'agriculture des autres. Un investisseur s'est avéré incapable de gérer une exploitation diversifiée et les attributaires de la réforme agraire ont reproduit leurs propres pratiques agricoles dans le jeu de rôles, et n'ont pas joué les rôles attribués.

Inspirés de leur monde réel, les attributaires ne sont pas engagés dans le jeu de rôles. Ils ont cherché à limiter les risques, en sécurisant une partie de leur production (en diversifiant) ou en partageant les risques (en faisant appel à des modes de faire-valoir indirect). La logique des attributaires s'est matérialisée par la volonté de limiter les risques, de transmettre la terre et les difficultés à s'engager dans une agriculture entrepreneuriale. Ils sont aussi désintéressés par l'action collective, car ils font le lien avec l'histoire décevante de leur coopérative de réforme agraire, considérée comme source de problèmes et de dépendances. *A contrario*, leurs fils ont démontré avoir des facilités pour se projeter dans une autre agriculture que la leur, gérant aussi bien de petites exploitations familiales diversifiées que de grandes exploitations arboricoles. Pour eux, il est question d'entreprendre pour apprendre comment évoluer dans leur environnement actuel caractérisé par un accès contraignant aux facteurs de production associé à une prise de risque. Ils considèrent que telles sont les nouvelles règles de l'activité agricole à l'image de celles simulées par le jeu de rôles. Certains jeunes parlent même de la zone « *comme un grand casino* » où l'activité agricole est dorénavant soumise à des risques. Comme révélée par (Daré, 2005), la réalité s'invite dans les jeux de rôles. Le retour vers le monde réel nous montre que ceux qui « jouent » dans le monde virtuel sont aussi ceux qui jouent dans le monde réel et vice-versa.

#### **5.4.3. Des jeunes entrepreneurs au sein des exploitations familiales ?**

Le développement d'une agriculture intensive, mettant une forte pression sur les facteurs de production et creusant les inégalités socio-économiques entre exploitations agricoles, n'est pas isolé des options publiques institutionnalisant les agricultures « modernes » (Bossenbroek et Zwarteveen, 2015). Par-delà la prééminence accordée au développement agricole par l'État, les alliances entre investisseurs et État laissent le développement de la petite exploitation familiale sans support et cantonne à la « débrouillardise ». La démarche dévoile un esprit entrepreneurial, qui peut aussi concerner l'agriculture familiale. Il n'existe pas de démarcations claires entre le modèle d'agriculture paysanne et le modèle entrepreneurial, et des zones de chevauchement et des mouvements de transgression peuvent avoir lieu entre les deux (Van Der Ploeg, 2014). En effet, les jeunes, empreints de l'agriculture paysanne héritée de leurs aînés, mais également tentés par l'entrepreneuriat, peuvent se mouvoir entre ces deux modèles et parfois jumeler les deux logiques au sein même de l'exploitation familiale où s'opère un processus de négociation entre les aînés et leurs fils (Petit et al., 2015). L'aptitude

de jeunes ruraux représente un atout important dont jouissent ces exploitations agricoles familiales. Ils sont en mesure de s'engager dans une agriculture « moderne » tout en restant attachés aux pratiques d'une agriculture familiale (accès contraint aux facteurs de production, pluriactivité, etc.), ancrée territorialement. De plus, en mettant en avant l'intérêt de l'action collective dans la résolution des problèmes, ils constituent la seule catégorie d'acteur qui exprime une forte volonté pour l'action collective dans ce territoire rural.

## **5.6. Conclusion**

La compréhension des différences intergénérationnelles dans la conduite de l'agriculture, que nous avons dévoilées à travers la démarche participative, fournit des pistes intéressantes sur les questions et les modalités du renouvellement du monde rural et son évolution. La démarche révèle l'esprit entrepreneurial des jeunes ruraux, mais aussi leur capacité à gérer une exploitation agricole dans un contexte très difficile d'accès aux ressources productives (terre, eau, capital) et face à des marchés volatils. Elle montre également leur ancrage territorial et leur engagement dans le changement, qui passe par l'action collective à l'échelle locale. Paradoxalement, l'État qui cherchait des entrepreneurs en attirant de nouveaux investisseurs par son programme de subventions pourrait bien les trouver au sein même des exploitations familiales si longtemps marginalisées. Pour que les jeunes ruraux expriment ce potentiel, il faudra que les pouvoirs publics reconnaissent leurs rôles dans le développement agricole et territorial, et facilitent la succession en cours sur les exploitations familiales. Cela commence par la reconnaissance du statut des jeunes repreneurs et par des mesures attractives pour accompagner les projets des jeunes, aptes à s'engager collectivement dans des projets de développement agricole.

## **Remerciements**

Cette étude a été effectuée dans le cadre du projet ANR-Groundwater Arena (CEP S/11- 09) et de la JEAI Daima.

---

---

# **Chapitre 6.**

## **Conclusion générale**

---

---

### **6.1. Introduction : importance d'une prise en compte de l'utilisateur**

Cette thèse traite la question des inégalités d'accès et d'utilisation des eaux souterraines qui dans un contexte de surexploitation conditionnent de nouvelles inégalités entraînant la différenciation socioéconomique entre exploitations agricoles. La question centrale de la thèse était : *Dans un contexte de surexploitation des eaux souterraines, comment les inégalités d'accès des exploitations agricoles à la "Groundwater Economy" se (re)produisent et quels liens entretiennent-elles avec l'accès à la terre et au capital ?* La finalité est de savoir en quoi la compréhension de ces inégalités aide à clarifier les enjeux de la gestion des eaux souterraines d'une part et le développement rural d'autre part. Nous ne prétendons pas ici apporter des réponses toutes faites, mais plutôt de proposer des pistes de réflexion sur la question et une meilleure façon de penser le problème. La réponse à la question a nécessité la prise en compte explicite de l'utilisateur (le « user perspective ») recommandé par Mukherji et Shah (2005). Ces auteurs, en analysant la gouvernance des eaux souterraines, appellent à allier notre connaissance sur les comportements et caractéristiques des usagers des eaux souterraines, avec la connaissance des dynamiques de ces ressources et des arrangements institutionnels qui gouvernent son utilisation. Nous avons donc mobilisé cet « user perspective », qui considère l'usager au centre du débat, car elle détient des éléments de réponses importants à notre question.

Notre thèse a commencé par mesurer la dépendance des différentes catégories sociales d'agriculteurs de l'eau souterraine, ainsi que leur contribution respective au problème de la surexploitation. Il nous est apparu inéluctable d'analyser cette dépendance qui est pour le moment observée à travers des méthodes indirectes et totalisantes. La diversité des pratiques et des logiques des agriculteurs qui façonnent le pompage et l'irrigation est rarement prise en compte, et l'on finit généralement par accuser le secteur irrigué dans son ensemble comme responsable de la surexploitation. De telles analyses fournissent ainsi que très peu de connaissances sur les processus d'anthropisation des ressources en eau souterraine. A contrario, cette thèse montre l'importance de la mesure directe des prélèvements en eaux souterraines pour dégager des connaissances sur les pratiques de pompage et d'irrigation, qui s'avèrent très différentes entre les différentes catégories sociales d'agriculteurs. La méthodologie adoptée a permis une décomposition des prélèvements en eau souterraine, en distinguant les usages d'une part et entre usagers d'autre part. C'est aussi une méthode qui fournit des informations sur les inégalités qui caractérisent l'utilisation des eaux souterraines. Par ce fait, elle enrichit le débat sur les inégalités, qui se limite souvent à l'accès physique à l'eau souterraine. Or, nous avons observé que beaucoup de ces ouvrages ne sont pas utilisés, puisque leur utilisation entraînerait des coûts élevés et amènerait les agriculteurs sur des marchés agricoles volatils et/ou parce que ces ouvrages obtiennent de mauvais rendements dans un contexte de déclin des nappes. L'on se pose ainsi la question sur la pertinence des données de l'agence répertoriant ces ouvrages de pompage quand on sait que dans notre zone

d'étude sur les 430 ouvrages inventoriés, seulement 240 ont été utilisées pendant notre campagne de suivi. De surcroît, les prélèvements des eaux souterraines dépendent des pratiques d'irrigation, elles-mêmes régies par de nombreux facteurs biophysiques (relation eau-sol-plante) et surtout socioéconomiques. Des attributs qui ne peuvent pas être vus du ciel et qui nécessitent de l'investigation empirique de terrain.

La révélation des inégalités d'accès et d'utilisation des eaux souterraines entre différentes catégories sociales d'agriculteurs est fondamentale pour permettre une gestion des eaux souterraines qui saurait identifier les responsabilités face aux enjeux de la surexploitation. Le problème est encore plus complexe si l'on ajoute le lien avec le développement rural. Nous n'avons que partiellement pris en compte ce lien dans cette thèse à travers l'analyse du rapport entre les inégalités et la différenciation socio-économique des exploitations. Cela constitue une première étape pour réfléchir aux conséquences sur le développement rural. La compréhension de la relation entre la surexploitation et les inégalités d'accès et d'utilisation des eaux souterraines permet d'étudier le rapport entre l'enjeu environnemental de surexploitation et le développement socioéconomique du monde rural. En effet, alors que dans notre étude de cas la surexploitation était fondée sur les inégalités, comme nous l'avons montré dans cette thèse, ces dernières en produisant de nouvelles inégalités socioéconomiques accélèrent la surexploitation.

Le cercle vicieux qui entretient et renforce le rapport entre la surexploitation et les inégalités produit chez les différentes catégories d'agriculteurs différentes postures face aux enjeux. Dans notre cas d'étude, les locataires sont aujourd'hui les acteurs qui exercent le plus de pression sur les ressources en eau souterraine (33 % du total prélevé sur 11 % de la SAU totale), et ils sont dans une totale insouciance par rapport à l'enjeu de surexploitation. Deux failles dans la conception du développement ont donné naissance à ces acteurs : 1) la précarité économique des attributaires au temps du nouvel âge du développement rural ; 2) la libéralisation du secteur agricole préparant la privatisation des terres et le soutien aux cultures à haute valeur ajoutée. Notre étude est aussi très intéressante, car elle montre que les inégalités foncières ne suffisent pas à expliquer les inégalités d'accès et d'utilisation des eaux souterraines. Bien que ne disposant pas d'une assiette foncière propre et travaillant parfois sur des surfaces relativement restreintes, les locataires sont souvent pointés de doigt par les attributaires de la réforme agraire comme étant de « grands producteurs » d'oignon et responsables aussi de la surproduction et de ce qu'elle génère en matière d'effondrement des prix sur le marché. C'est la deuxième contrainte à laquelle se heurtent les petits producteurs s'engageant dans la « groundwater economy ». Il a fallu à ces locataires seulement 8 ans pour devenir les plus grands consommateurs de l'eau souterraine, alors que les attributaires depuis plus de 30 ans n'ont pas réussi à impulser de telles dynamiques. D'un côté, leurs pratiques sont plus en phase avec l'environnement bioclimatique de la zone avec une moindre pression sur la ressource. De l'autre côté, ils n'ont pas réussi à atteindre des niveaux de revenus suffisants. Bien au contraire, pendant ces dernières années ils s'affaissent dans une exclusion sociale et marginalisation économique.

L'investigation de la réciprocité existante entre la surexploitation et les inégalités tout en intégrant des lectures techniques (technique de pompage et d'irrigation), économiques (coût

de l'accès à l'eau et au marché, revenus des exploitations) et sociales (exclusion, accaparement des ressources, marginalisation) permet de dévoiler la face cachée de la GWE. L'analyse des trajectoires des différentes catégories sociales d'agriculteurs dans la GWE montre en effet que l'utilisation des eaux souterraines, qui permettait d'incontestables améliorations des moyens de subsistance, se transformait sous l'influence de la surexploitation en crise sociale. Cette crise sociale avait été pressentie par les spécialistes de la communauté scientifique étudiant la GWE (Llamas et Martínez-Santos, 2005; Shah, 2010). Cette thèse permet premièrement de préciser ce pressentiment, en montrant la difficulté économique qui refait surface pour certains agriculteurs, alors que d'autres agriculteurs continuent à s'enrichir. Deuxièmement, la thèse met en évidence les processus à l'œuvre expliquant les trajectoires diversifiées des exploitations agricoles s'engageant dans la GWE. Au cours de la dynamique contemporaine de l'agriculture irriguée, le facteur capital est devenu le facteur le plus important déterminant la trajectoire de l'exploitation. C'est le capital qui a permis aux investisseurs d'accéder aux terres, de faire de l'arboriculture et de sécuriser ainsi la rentabilité économique. Pour le maraîchage qui connaît des difficultés de commercialisation, le facteur capital intervient pour amoindrir les risques des volatilités de prix sur les marchés. Les attributaires accèdent à ce facteur par des arrangements informels (association de production, acquisition des intrants sur crédit) pendant la campagne agricole. Ils perdent de ce fait parfois le pouvoir décisionnel durant et surtout après la campagne agricole (Stocker ou pas ? Pour quelle période ? Pression par les fournisseurs d'intrants sur l'agriculteur pour payer ses factures). Les locataires excellent dans cette gestion de risque par deux manières. Il y a d'abord une logique d'intensification pour obtenir des rendements élevés, puis stocker pour de longues périodes pour mieux vendre. Lorsqu'il arrive que l'effondrement des prix de l'oignon sur le marché affecte l'ensemble des agriculteurs pendant une année, les locataires estiment que leur plus grand profit est l'exclusion d'un bon nombre de petits producteurs qui n'auront pas les moyens financiers nécessaires pour payer la campagne l'année suivante. Leur laissant ainsi plus de place pour une compétition à sens unique, mais aussi l'accès à des terres à moindre prix disposant d'un accès à l'eau souterraine à travers des baux annuels.

La surproduction qui caractérise l'oignon aujourd'hui et peut-être l'arboriculture fruitière demain a ainsi fait déplacer la conception des agriculteurs de leur territoire. Ces problèmes sont venus s'ajouter au tarissement des puits et même de quelques forages dans certains endroits qui au début n'inquiétait que ceux l'ayant subi. Afin de mettre en débat les enjeux de surexploitation et les inégalités d'accès à l'eau souterraine, et les repenser pour opérationnaliser la régulation de l'utilisation des eaux souterraines et le développement rural, une démarche participative a été mise en œuvre. La démarche a rapidement été appropriée par les jeunes fils d'attributaires en la considérant comme une opportunité de réfléchir à l'avenir de leur agriculture et d'avoir un contact avec les services agricoles. Cet intérêt est à contraster avec la réticence de leurs parents à cause de leur vécu traumatisant (rapports conflictuels avec l'état et avec les autres attributaires) sur les anciennes coopératives de réforme agraire. Les jeunes fils d'attributaires ont acquis des expériences en arboriculture sur les exploitations de l'agrobusiness et sont sollicités sur les exploitations des investisseurs,

mais ils finissent souvent par revenir sur l'exploitation de leurs parents. Ils ont ainsi compris que leur avenir est lié à celui de leur territoire. S'ils ont approprié notre démarche qui devient la leur à leurs fins, c'est parce qu'ils y voyaient un moyen d'explorer et débattre de cet avenir, puis de se regrouper pour aller à la rencontre de l'État, qui est perçu étant très loin, et de l'interroger sur leur avenir et sur ses intentions avec ce territoire. C'est ainsi que ces jeunes se sont organisés en association comme une réponse commune à l'enjeu de la régulation de l'action individuelle sur la ressource en eau souterraine, et au-delà à l'enjeu du développement rural. Leurs réflexions portent sur comment faire accéder les exploitations de leurs parents à des systèmes de production comme l'arboriculture et garder en même temps l'héritage des pratiques de diversification. Ils sont animés par la volonté de casser cette image de la petite exploitation familiale qui n'avance pas. Les démarches participatives sont donc à la fois des outils pour construire la connaissance sur les dynamiques et pour réveiller la conscience des agriculteurs sur les défis à venir. Elles sont aussi un engagement à la recherche des pistes de réflexion sur comment rendre vertueux le cercle vicieux qui lie inégalités et surexploitation pour allier la régulation des eaux souterraines avec le développement rural.

## **6.2. La gestion des eaux souterraines et le développement rural : quels (dés)accords ?**

Comme dans d'autres pays au Maghreb, les agences de bassins hydrauliques donnent beaucoup d'importance à l'acquisition de données et au fonctionnement de modèles permettant de simuler les dynamiques des aquifères, mais n'ont que peu d'informations sur les usagers et les usages des aquifères (Faysse et al., 2011). Dans le Saïss, ce regard orienté vers la ressource (« ressource perspective ») entraîne une méconnaissance des utilisateurs et des arrangements permettant l'accès et l'utilisation des eaux souterraines. Plusieurs instruments ont été mis en œuvre pour réguler l'utilisation de l'eau souterraine. D'abord par l'imposition des systèmes d'autorisation de creusement (l'autorisation de pompage ne fonctionne pas encore). De la même manière, la régulation de la demande a été pensée par la reconversion de l'irrigation gravitaire en irrigation au goutte-à-goutte. La critique que notre thèse formule est la confiance aveugle dans la technologie comme solution au problème de surexploitation. Le cas des locataires, nomades continuellement à la recherche de nouvelles ressources laisse paraître l'ambiguïté de ce lien entre durabilité et techniques économes en eau. En effet, la mise en place du goutte-à-goutte s'accompagne dans le Saïss par une intensification des systèmes de production, une mobilité des agriculteurs et une extension de la superficie irriguée (Kuper et al., 2017). Le premier verrou de cette idéalisation de la technique est donc la compréhension trop globale de l'utilisation des eaux souterraines, souvent biaisée par des connaissances de la ressource sans ses utilisateurs.

Comme les nappes continuent de baisser à des rythmes importants, l'accent a été mis récemment sur l'augmentation de l'offre en eau par un nouveau transfert des eaux de surface depuis le barrage M'dez en cours de construction. Ce retour vers une gestion de l'offre est peut-être un signe de repli de l'implémentation du contrat de nappe mis en œuvre par l'agence par une recherche de l'intégration eau de surface/souterraine pour pérenniser



l'agriculture irriguée. Le contexte actuel de surexploitation des eaux souterraines met à risque les investissements et les attentes du Plan Maroc vert dans le secteur agricole. C'est donc essentiellement l'ambition économique qui anime ce projet de transfert pour conforter ces investissements déjà opérés dans l'agriculture irriguée. Dans cette plaine du Saïss, même les grands domaines agricoles commencent à avoir des difficultés d'accès à l'eau souterraine pour des objectifs d'extension, surtout dans le cercle d'El Hajeb où la pression exercée sur les ressources est très conséquente. A contrario, pour beaucoup de petits agriculteurs, ce projet n'est qu'une rumeur comme celle sur la tarification des pompages. Cela remet en cause le slogan « *Pour une gestion participative et concertée de l'eau* » de l'ABHS. Si les gestionnaires de l'eau souterraine continuent d'être confrontés à l'incompréhension socioéconomique des dynamiques agricoles, l'avènement d'un tel projet de transfert risque d'aggraver les inégalités existantes, qui profiterait probablement aux protagonistes de l'agriculture à forte valeur ajoutée au détriment des exploitations portées sur la diversification (Dugué et al., 2014). Et donc *in fine* au détriment de la nappe, qui va sans doute continuer à être fortement sollicitée.

La modernisation de l'agriculture génère souvent des perdants qui n'ont pas les moyens d'intégrer ce nouveau monde fait d'agriculture intensive. De plus, les paysans non-utilisateurs du goutte-à-goutte, par exemple, sont usuellement décriés comme gaspilleurs. Mais les usagers de l'irrigation au goutte-à-goutte sont-ils dans une perspective de durabilité ? Au-delà du stéréotype de l'opposition agriculture moderne/traditionnelle, notre étude a conduit plutôt à catégoriser les différentes catégories sociales d'agriculteurs sans exclure les interactions entre elles. Ces catégories partagent disproportionnellement les ressources en eau souterraine, et la responsabilisation doit se déconstruire ainsi pour mieux cibler les implications des uns et des autres dans le problème de surexploitation. Ces contributions respectives à la surexploitation sont souvent formulées dans le discours des agriculteurs à travers des accusations de type « c'est à cause de l'autre ». D'un côté, les attributaires accusent les nouveaux arrivants (locataires et investisseurs) à cause de leurs superficies irriguées importantes. De l'autre côté, les investisseurs mettent en avant les pratiques d'irrigation « archaïques » des petits producteurs. Les locataires justifient leur sur-irrigation, dont ils ont conscience, par le fait que cela leur semble la seule option pour un meilleur accès aux marchés. La gestion des ressources en eau souterraine sans information sur la diversité des agriculteurs, leurs pratiques, leurs logiques, et leurs constructions d'horizons, a de faibles chances d'appréhender la construction des problèmes de surexploitation et d'inégalités.

L'accès à l'eau souterraine est souvent pensé comme un moyen de lutte contre la pauvreté et pour le développement rural (Bardhan, 1993; Hussain et Hanjra, 2004; Shah, 1993). De ce fait, depuis une trentaine d'années, le développement rural dans plusieurs régions semi-arides se basait sur le surdéveloppement de l'irrigation par les eaux souterraines conduisant à accentuer des situations de surexploitation (Foster et al., 2000). Cependant, nous avons vu que l'accès à l'eau souterraine n'a pas assuré une amélioration durable des moyens de subsistance des attributaires lorsqu'ils sont livrés aux problèmes de surexploitation dont ils ne sont pas responsables et de surproduction qui rend difficile leurs accès aux marchés. Notre analyse des mécanismes d'inclusion et d'exclusion socioéconomique de la GWE montre que

certaines agriculteurs ressortent de cette GWE plus pauvres qu'ils n'en sont entrés. Du surcroît, Prakash (2005) pense que promouvoir l'utilisation des eaux souterraines pour lutter contre la pauvreté rurale constitue un raccourci simplifiant de façon excessive un problème plus complexe. Dans le Saïss, ces politiques ont produit deux types d'acteurs caractérisés par une certaine « boulimie » de l'eau : 1) les locataires avec leurs pratiques intensives produisant plusieurs cultures par an grâce à des systèmes de goutte-à-goutte performants, et 2) les investisseurs arboriculteurs visant l'extension de la superficie irriguée pour qui se pose la question de l'impossibilité des restrictions compte tenu de leurs systèmes de production stratégiques. Les pratiques de ces deux types d'acteurs interrogent la vision ambiguë de l'impact de la politique de modernisation agricole sur la protection des ressources en eau souterraine et son effet attendu sur le développement rural. Les subventions ou la levée de la main de l'État sur les terres de la réforme agraire par exemple profitent plus aux investisseurs qui sont paradoxalement des non ruraux. Il y a donc un désaccord entre les politiques de gestion des ressources en eau souterraine et celle du développement agricole qui entrent en conflit sur le terrain et qui se matérialisent par un déclin des eaux souterraines et par la marginalisation voire l'exclusion des agriculteurs qui finissent comme de simples ouvriers. Dans le Saïss, quelques unités de production capitalistes côtoient aujourd'hui des exploitations patronales et des exploitations familiales ayant des intérêts divergents quant à la gestion des eaux souterraines (Gameroff et Pommier, 2012). Tant que ce désaccord n'est pas adressé, les inégalités et la surexploitation continueront d'exercer leur pouvoir d'exclusion économique et d'enclavement social, et les jeunes fils d'attributaires hériteront la misère de leurs parents ex-attributaires. Comme dans la plupart des pays africains, la libéralisation au rythme des négociations financières avec des bailleurs de fonds et des négociations commerciales internationales s'est souvent accompagnée d'un dépérissement des politiques agricoles, les conditions de production et d'existence se sont détériorées et de nombreuses exploitations connaissent de graves processus d'appauvrissement (Mercoiret, 2006).

Un développement rural durable ne doit donc pas seulement permettre l'accès aux ressources en eau souterraine, mais aussi et surtout assurer un contrôle pour garantir leur utilisation sur la durée et au plus grand nombre. Néanmoins, il semble que ce développement se résume à l'acceptation des inégalités dans l'accès aux ressources pour libérer la terre pour des propriétaires plus capitalisés, et à l'acceptation de la différenciation sociale et économique des exploitations pour que les attributaires deviennent fournisseurs de mains-d'œuvre compétitives pour les grandes exploitations.

### **6.3. Des lacunes de connaissances et des perspectives de recherche**

La prise en compte explicite de l'utilisateur proposée dans cette thèse génère des connaissances intéressantes sur le comment et le pourquoi de la surexploitation des eaux souterraines par une compréhension des comportements de différentes catégories sociales d'agriculteurs. Cependant, plusieurs pistes méritent d'être approfondies pour aller vers une gouvernance de l'eau souterraine à la fois plus durable et plus équitable. Sur le plan technique, il faut plus d'attention pour régionaliser la connaissance locale à plus grande échelle. Il s'agira par exemple d'une méthodologie d'évaluation des pompages d'eau

souterraine à l'échelle locale qui croisera la télédétection des systèmes de production à plus grande échelle. Il sera sans doute aussi nécessaire de construire des références locales d'irrigation à l'échelle locale pour remplacer les valeurs fournies par l'estimation des besoins en eau théorique des cultures. De telles avancées méthodologiques permettraient d'explorer de façon approfondie les dynamiques actuelles et futures de pompage des eaux souterraines.

D'une manière plus générale, le « user perspective » sur des problèmes de gouvernance, tels que la surexploitation ou la construction des inégalités, développé dans cette thèse, devra être complété et lié aux deux autres perspectives, proposées par Mukherji et Shah (2005) :

1) Une compréhension des arrangements formels et informels permettant d'obtenir l'accès aux eaux souterraines. Cette compréhension devra aussi concerner les arrangements pour accéder aux autres facteurs de production comme la terre et le capital, car nous pensons que c'est l'ensemble de ces arrangements qui gouvernent indirectement l'agriculture irriguée. De telles connaissances permettront aux gestionnaires de l'eau souterraine et aux politiques de développement d'être mieux informés sur les réalités rurales et leur permettront de mieux articuler les dispositifs formels (régulation, subventions, etc.) avec ces réalités.

2) Une compréhension des dynamiques des aquifères sous l'influence anthropique. Les prélèvements diffus qui caractérisent toute la plaine du Saïss méritent d'être mieux étudiés pour comprendre les dynamiques en cours et déjà actualiser le chiffre de 100 Mm<sup>3</sup> de déficit hydrique, estimé sur la période 1939-2002 qui ne représente donc sans doute les dynamiques agraires actuelles. Se pose la question de l'implantation du nouveau barrage de M'dez qui va venir dans les prochaines années corriger un déficit estimé le siècle dernier. Il y a donc un décalage entre connaissance construite et action à mener. Des études prospectives permettront d'appréhender cette question. Des études socioéconomiques permettront de mieux préparer le terrain pour les aménagements hydro agricoles à venir dans le cadre de projet de transfert de l'eau de surface à acheminer depuis le barrage.

Puisqu'il est reconnu dans la littérature scientifique que la gouvernance des eaux souterraines ne peut être qu'un produit d'une réflexion locale impliquant une forte participation des usagers de l'eau souterraine, il est important de continuer à développer des méthodes permettant une telle implication. Cela demandera une meilleure connaissance sur les jeux de pouvoir, les conflits et les intérêts des différents acteurs impliqués. Cette réflexion doit dépasser la relation déjà complexe entre agriculteurs et services de l'état pour s'intéresser aux acteurs des filières agricoles et aux fournisseurs de services. L'action des premiers acteurs est déterminante pour la dynamique de ces filières et va donc largement influencer les prélèvements de l'eau. Comme le problème de surexploitation des eaux souterraines est lié dans beaucoup de cas à des situations de surproduction et de volatilité des prix sur le marché, des études sur l'organisation des filières et ses circuits informels sont nécessaires pour appréhender ce lien (Lejars et al., 2017). L'action des fournisseurs de service souvent informels offrant des services dans le domaine de l'irrigation, mais aussi de forage et de pompage des eaux souterraines est aussi très importante pour expliquer la dynamique des pompages. Ce sont ces acteurs qui rendent la nappe « visible » aux agriculteurs, qui font appel à ces compétences chaque fois qu'ils rencontrent un problème.

L'organisation des filières est une perspective de recherche intéressante qui peut informer la réflexion sur le problème de surexploitation des eaux souterraines et les inégalités associées. « Environ 30 % des productions de l'oignon finissent pourris... mais c'est 30 % de l'eau pompée gaspillée et 30 % de coûts de production évaporés » nous disait un président d'une association de producteurs de l'oignon. C'est par cette expression que cet agriculteur estime l'organisation des filières une solution indéniable à la fois pour permettre moins de pression sur les nappes et une activité agricole rentable et durable. Ces initiatives pourraient être accompagnées par des mesures techniques et financières. Cela peut s'opérationnaliser par la construction des unités frigorifiques permettant de réduire le gaspillage de l'eau souterraine et les pertes économiques associées, si bien évidemment les producteurs surtout les grands se mettent à produire moins. Une telle réduction n'affectera pas les quantités des productions à écouler sur les marchés. Les 30 % de coûts de production économisés pourront bien servir à couvrir ces coûts de stockage. Pour les petits agriculteurs, un tel mécanisme leur permettra de tirer leurs profits vers le haut. Cependant, l'une des véritables contraintes pour une telle démarche est l'existence des inégalités racontées par les agriculteurs : « *les grands et petits producteurs n'ont pas le même langage, ils ne s'entendent pas* ». Pourtant, une telle organisation des agriculteurs en associations de producteurs pourrait réussir à joindre le développement rural utilisant durablement les ressources en eau souterraine. C'est éventuellement ce qui permet aux exploitations agricoles de sécuriser leurs accès aux marchés. Une démarche participative récemment entretenue dans un petit territoire de la province de Sefrou a montré ces pistes de réflexion pour concilier le développement agricole à usage pérenne des eaux souterraines par le biais d'organisation collective de commercialisation des pommes par exemple (Sellika et al., 2016).

Le moment pour promouvoir une telle démarche est probablement opportun, lorsqu'une effervescence associative au niveau local est en train de naître. C'était le cas lorsque nous étions sur le terrain quand un groupe de jeunes fils d'attributaires s'est constitué en association. Cependant, de telles démarches demandent une réflexion sur l'ensemble du territoire, pour intéresser tous les producteurs, par la création de plusieurs associations avec par la suite une fédération pour unir des stratégies en une, voire même peser sur les politiques de développement rural. Ceci concourt davantage à faire valoir la participation des populations locales dans la conception des modes de développement de leur monde rural en respect avec son environnement. Pour les pouvoirs publics, c'est une manière permettant de faire le suivi des dynamiques agricoles pour éviter des pratiques prédatrices au détriment des ressources en eau souterraine. Face aux difficultés actuelles de gérer les ressources en eau souterraine, la mise en pratique de ces associations de producteurs des différentes filières mérite plus d'attention des pouvoirs publics. Cette attention peut être outillée par les approches de démarches participatives impliquant les agriculteurs et les autres acteurs concernés par le développement rural et de gestion des ressources en eau souterraine.

## Références bibliographiques

- Aahd, A., Simonneaux, V., Sadik, E., Brahim, B., Fathallah, S., 2009. Estimation des volumes d'eau pompés dans la nappe pour l'irrigation (plaine du Haouz, Marrakech, Maroc). Comparaison d'une méthode statistique et d'une méthode basée sur l'utilisation de la télédétection. *Rev. des Sci. l'eau/Journal Water Sci.* 22, 1–13.
- Adams, R.H., He, J.J., 1995. Sources of income inequality and poverty in rural Pakistan. *Intl Food Policy Res Inst*, Washington, DC.
- Adhikari, B., Lovett, J.C., 2006. Institutions and collective action: does heterogeneity matter in community-based resource management? *J. Dev. Stud.* 42, 426–445.
- Agrawal, A., Ostrom, E., 2001. Collective action, property rights, and decentralization in resource use in India and Nepal. *Polit. Soc.* 29, 485–514.
- Aguilar, D., 2010. Groundwater reform in India: An equity and sustainability dilemma. *Tex. Int'l LJ* 46, 623.
- Akesbi, N., 2012. Une nouvelle stratégie pour l'agriculture marocaine: Le Plan Maroc Vert. *New Medit* 11, 12–23.
- Alauddin, M., Quiggin, J., 2008. Agricultural intensification, irrigation and the environment in South Asia: Issues and policy options. *Ecol. Econ.* 65, 111–124.
- Alley, W.M., Leake, S.A., 2004. The journey from safe yield to sustainability. *Ground Water* 42, 12–16.
- Amblard, L., Colin, J.P., 2009. Reverse tenancy in Romania: Actors' rationales and equity outcomes. *Land use policy* 26, 828–836. doi:10.1016/j.landusepol.2008.10.008
- Ameur, F., Amichi, H., Kuper, M., Hammani, A., 2017. Specifying the differentiated contribution of farmers to groundwater depletion in two irrigated areas in North Africa. *Hydrogeol. J.* doi:10.1007/s10040-017-1569-1
- Ameur, F., Kuper, M., Hammani, A., 2014. Quand l'irrigation au goutte-à-goutte augmente la demande en eau: expérience du Saïss. Séminaire sur Les Economies d'Eau dans les Systèmes Irrigués, L'ANAFIDE et L'AFEID, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat., in: Séminaire Sur Les Economies d'Eau Dans Les Systèmes Irrigués. L'ANAFIDE et L'AFEID, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat.
- Ameur, F., Kuper, M., Lejars, C., Dugué, P., (Soumis). Prosper, survive or exit: contrasted fortunes of farmers in the groundwater economy in the Saïss plain (Morocco). *Agric. Water Manag.*
- Amichi, H., Bouarfa, S., Kuper, M., Ducourtieux, O., Imache, A., Fusillier, J.-L., Bazin, G., Hartani, T., Chehat, F., 2012. How does unequal access to groundwater contribute to marginalization of small farmers? The case of public lands in Algeria. *Irrig. Drain.* 61, 34–44. doi:10.1002/ird.1660
- Amichi, H., Mayaux, P.-L., Bouarfa, S., 2015. Encourager la subversion: recomposition de

- l'État et décollectivisation des terres publiques dans le Bas-Chélif, Algérie. *Polit. africaine* 71–93.
- Anderson, T.L., Snyder, P., 1997. *Water markets: Priming the invisible pump*. Cato Institute.
- Andricevic, R., 1990. A Real-Time Approach to Management and Monitoring of Groundwater Hydraulics. *Water Resour. Res.* 26, 2747–2755.
- Angeliaume-Descamps, A., Oballos, J., 2009. Le maraîchage intensif irrigué dans les hautes vallées andines vénézuéliennes: quelle remise en question? *Les Cah. d'Outre Mer* 439–468.
- Atkinson, A.B., 1970. On the measurement of inequality. *J. Econ. Theory* 2, 244–263.
- Baland, J.-M., Bardhan, P.K., Bowles, S., 2007. *Inequality, cooperation, and environmental sustainability*. Princeton University Press.
- Baland, J.-M., Platteau, J.-P., 2007. Collective action on the commons: the role of inequality. *Inequality, Coop. Environ. Sustain.* 10–35.
- Baland, J.-M., Platteau, J.-P., 1999. The ambiguous impact of inequality on local resource management. *World Dev.* 27, 773–788.
- Baland, J.-M., Platteau, J.-P., 1996a. Halting degradation of natural resources: is there a role for rural communities? *Food & Agriculture Org.*
- Baland, J.-M., Platteau, J.-P., 1996b. *Inequality and collective action in the Commons*. CRED, Univ. Namur.
- Baland, J.M., Platteau, J.P., 1999. The ambiguous impact of inequality on local resource management. *World Dev.* 27, 773–788. doi:10.1016/S0305-750X(99)00026-1
- Bardhan, P., 1993. Analytics of the institutions of informal cooperation in rural development. *World Dev.* 21, 633–639.
- Bardhan, P., Dayton-Johnson, J., 2007. Inequality and the governance of water resources in Mexico and South India, in: Baland, J.-M., Bardhan, P.K., Bowles, S. (Eds.), *Inequality, Cooperation, and Environmental Sustainability*. Princeton University Press, pp. 97–130.
- Bardhan, P., Dayton-Johnson, J., 2002. Unequal irrigators: heterogeneity and commons management in large-scale multivariate research. *The drama of the commons* 87–112.
- Bardhan, P., Dayton-Johnson, J., 2000. Heterogeneity and commons management, in: *Proceedings of the 8 Th International Conference on Common Property*, IASCP. Bloomington, Indiana.
- Barlow, M., Clarke, T., 2003. *Blue gold: the battle against corporate theft of the world's water*. Earthscan.
- Batchelor, C., Reddy, V.R., Linstead, C., Dhar, M., Roy, S., May, R., 2014. Do water-saving technologies improve environmental flows? *J. Hydrol.* 518, 140–149.
- Benaabidate, L., Cholli, M., 2011. Groundwater stress and vulnerability to pollution of Saiss

- basin shallow aquifer, Morocco, in: 15th International Water Technology Conference, IWTC-15.
- Benouniche, M., 2014. Une innovation technique en train de se faire. Le goutte à goutte en pratique au Maroc: acteurs, bricolages et efficiences. UM2 Université Montpellier II Sciences et techniques.
- Benouniche, M., Kuper, M., Hammani, A., 2014. Mener le goutte à goutte à l'économie d'eau: ambition réaliste ou poursuite d'une chimère? *Altern. Rural.*
- Bhatia, B., 1992. Lush fields and parched throats: the political economy of groundwater in Gujarat. *Econ. Polit. Wkly.* 27/51, A-142-170.
- Bhattarai, M., Sakthivadivel, R., Hussain, I., 2001. Irrigation impacts on income inequality and poverty alleviation: Policy issues and options for improved management of irrigation systems. IWMI.
- Bied-Charreton, M., Makkaoui, R., Petit, O., Requier-Desjardins, M., 2006. La gouvernance des ressources en eau dans les pays en développement: enjeux nationaux et globaux. *Mondes Dev.* 39–62.
- Birkenholtz, T., 2009. Groundwater governmentality: hegemony and technologies of resistance in Rajasthan's (India) groundwater governance. *Geogr. J.* 175, 208–220.
- Biswas, A.K., 2004. Integrated water resources management: a reassessment: a water forum contribution. *Water Int.* 29, 248–256.
- Blanco-Gutiérrez, I., Varela-Ortega, C., Flichman, G., 2011. Cost-effectiveness of groundwater conservation measures: A multi-level analysis with policy implications. *Agric. Water Manag.* 98, 639–652. doi:10.1016/j.agwat.2010.10.013
- Bleu, P., 2006. Faire face aux crises et pénuries d'eau en Méditerranée. Les notes du Plan Bleu Environ. développement durable en Méditerranée.
- Blignaut, J., Ueckermann, L., Aronson, J., 2009. Agriculture production's sensitivity to changes in climate in South Africa. *S. Afr. J. Sci.* 105, 61–68.
- Blomquist, W., 1992. *Dividing the waters: governing groundwater in Southern California.* ICS Press Institute for Contemporary Studies.
- Blomquist, W.A., Dinar, A., Kemper, K., 2005. Comparison of institutional arrangements for river basin management in eight basins. *World Bank Policy Res. Work. Pap.*
- Bossenbroek, L., 2016. Behind the veil of agricultural modernization : gendered dynamics of rural change in the Saïss. PhD Thesis, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands.
- Bossenbroek, L., Zwarteveen, M.Z., 2015. One doesn't sell one's parents: gendered experiences of shifting tenure regimes in the agricultural plain of the Sais in Morocco, in: Archambault, C., Zoomers, A. (Eds.), *Global Trends in Land Tenure: Gender Impacts.* Routledge, London and New York.

- Bouarfa, S., Kuper, M., 2012. Groundwater in irrigation systems: from menace to mainstay. *Irrig. Drain.* 61, 1–13.
- Bouarfa, S., Marlet, S., Douaoui, A., Hartani, T., Mekki, I., Ghazouani, W., Aissa, I. Ben, Vincent, B., Hassani, F., Kuper, M., 2009. Salinity patterns in irrigation systems, a threat to be demystified, a constraint to be managed: field evidence from Algeria and Tunisia. *Irrig. Drain.* 58.
- Bouaziz, A., Belabbes, K., 2002. Efficience productive de l'eau en irrigué au Maroc. *Hommes, Terre Eaux* 32, 57–72.
- Bouzidi, Z., Faysse, N., Kuper, M., Billaud, J.-P., 2015. Les projets des jeunes ruraux: des stratégies diversifiées pour accéder au foncier et obtenir l'appui de l'État. *Altern. Rural.* Hors-série, 1–12.
- Bradaï, A., Douaoui, A., Hartani, T., 2012. Some problems of irrigation water management in lower Cheliff plain (Algeria). *J. Environ. Sci. Eng. A* 1.
- Bredehoeft, J.D., 2002. The water budget myth revisited: why hydrogeologists model. *Ground Water* 40, 340–345.
- Buller, H., 1996. Towards sustainable water management: catchment planning in France and Britain. *Land use policy* 13, 289–302.
- Burke, J.J., 2002. Groundwater for irrigation: productivity gains and the need to manage hydroenvironmental risk. *Intensive use Groundw. challenges Oppor.* 478.
- Burke, J.J., Moench, M.H., 2000. Groundwater and society: resources, tensions and opportunities. *Themes in groundwater management for the twenty-first century.* Department of International Economic and Social Affairs, Statistical Office, United Nations.
- Burke, J.J., Sauveplane, C., Moench, M., 1999. Groundwater management and socio-economic responses, in: *Natural Resources Forum.* Wiley Online Library, pp. 303–313.
- Calvo-Mendieta, I., 2005. L'économie des ressources en eau: de l'internalisation des externalités à la gestion intégrée. L'exemple du bassin versant de l'Audomarois.
- Cao, G., Zheng, C., Scanlon, B.R., Liu, J., Li, W., 2013. Use of flow modeling to assess sustainability of groundwater resources in the North China Plain. *Water Resour. Res.* 49, 159–175.
- Cardenas, J.-C., 2003. Real wealth and experimental cooperation: experiments in the field lab. *J. Dev. Econ.* 70, 263–289.
- Cardenas, J.C., Stranlund, J., Willis, C., 2002. Economic inequality and burden-sharing in the provision of local environmental quality. *Ecol. Econ.* 40, 379–395.
- Carruthers, I.D., Stoner, R., 1981. Economic aspects and policy issues in groundwater development. *World Bank Staff working paper No. 496.* Washington, DC.
- Castaño, S., Sanz, D., Gómez-Alday, J.J., 2010. Methodology for quantifying groundwater



- abstractions for agriculture via remote sensing and GIS. *Water Resour. Manag.* 24, 795–814.
- Chandrakanth, M.G., Romm, J., 1990. Groundwater depletion in India-Institutional management regimes. *Nat. Resour. J.* 30, 485.
- Changming, L., Jingjie, Y., Kendy, E., 2001. Groundwater exploitation and its impact on the environment in the North China Plain. *Water Int.* 26, 265–272.
- Chaulet, C., 1984. La terre, les frères et l'argent: stratégies familiales et production agricole en Algérie depuis 1962.
- Cling, J.-P., De Vreyer, P., Razafindrakoto, M., Roubaud, F., 2004. La croissance ne suffit pas pour réduire la pauvreté. *Rev. française d'économie* 18, 137–187. doi:10.3406/rfeco.2004.1531
- Colin, J.-P., 2013. Marchés fonciers et concentration foncière. La configuration de “tenure inversée”(reverse tenancy). *Cah. du Pôle foncier* 28.
- Cullet, P., 2012. The Groundwater Model Bill-Rethinking Regulation for the Primary Source of Water. *Econ. Polit. Wkly.* 47, 40–47.
- Custodio, E., 2002. Aquifer overexploitation: what does it mean? *Hydrogeol. J.* 10, 254–277.
- Custodio, E., 2000. The complex concept of overexploited aquifer. *Fundación Marcelino Botín*.
- Daré, W., 2005. Comportements des acteurs dans le jeu et dans la réalité: indépendance ou correspondance? Analyse sociologique de l'utilisation de jeux de rôles en aide à la concertation. ENGREF (AgroParisTech).
- De Fraiture, C., Giordano, M., 2014. Small private irrigation: A thriving but overlooked sector. *Agric. Water Manag.* 131, 167–174. doi:10.1016/j.agwat.2013.07.005
- De Stefano, L., Lopez-Gunn, E., 2012. Unauthorized groundwater use: institutional, social and ethical considerations. *Water Policy* 14, 147–160.
- Dionnet, M., Daniell, K., Imache, A., Von Korff, Y., Bouarfa, S., Garin, P., Jamin, J.-Y., Rollin, D., Rougier, J.-E., 2013. Improving participatory processes through collective simulation: use of a community of practice. *Ecol. Soc.* 18.
- Diwakara, H., Chandrakanth, M.G., 2007. Beating negative externality through groundwater recharge in India: a resource economic analysis. *Environ. Dev. Econ.* 12, 271–296.
- Dosi, C., 2001. Agricultural use of groundwater: towards integration between agricultural policy and water resources management. Springer Science & Business Media.
- Doukkali, M.R., Lejars, C., 2015. Energy cost of irrigation policy in Morocco: a social accounting matrix assessment. *Int. J. Water Resour. Dev.* 31, 422–435.
- Dugué, P., Lejars, C., Ameur, F., Amichi, F., Braiki, H., Burte, J., Errahj, M., Hamamouche, M., Kuper, M., 2014. Recompositions des agricultures familiales au Maghreb : une analyse comparative dans trois situations d'irrigation avec les eaux souterraines. *Rev.*

Tiers Monde 4, 99–118. doi:10.3917/rtm.220.0101

- Edwards, V.M., 1996. Managing the commons: a framework for the analysis of institutional change and its application to the management of the Multiple Use Commons of the New Forest. Serious Graphics.
- Edwards, V.M., Steins, N.A., 1998. Developing an analytical framework for multiple-use commons. *J. Theor. Polit.* 10, 347–383.
- Er-Rabbani, M., El Madani, N., Grandmougin, B., Strosser, P., Chohin-Kuper, A., Mizane, L., Bouignane, A., 2008. Etablissement d'un scénario tendanciel pour le bassin de Sebou, Rapport du projet Ec'Eau Sebou, Agence du Bassin hydraulique du Sebou, Royaume du Maroc.
- Étienne, M., 2010. La modélisation d'accompagnement: une démarche participative en appui au développement durable. Paris: Quae Éditions.
- Falkenmark, M., Lindh, G., De Mare, L., Widstrand, C., 1980. Water and society: conflicts in development. 2. Water conflicts and research priorities. Pergamon Press.
- Famiglietti, J.S., 2014. The global groundwater crisis. *Nat. Clim. Chang.* 4, 945–948.
- Famiglietti, J.S., Lo, M., Ho, S.L., Bethune, J., Anderson, K.J., Syed, T.H., Swenson, S.C., De Linage, C.R., Rodell, M., 2011. Satellites measure recent rates of groundwater depletion in California's Central Valley. *Geophys. Res. Lett.* 38.
- Faysse, N., 2015. The rationale of the Green Morocco Plan: missing links between goals and implementation. *J. North African Stud.* 20, 622–634. doi:10.1080/13629387.2015.1053112
- Faysse, N., El Amrani, M., El Aydi, S., Lahlou, A., 2012. Formulation and implementation of policies to deal with groundwater overuse in Morocco: Which supporting coalitions? *Irrig. Drain.* 61, 126–134. doi:10.1002/ird.1652
- Faysse, N., Hartani, T., Frija, A., Tazekrit, I., Zairi, C., Challouf, A., 2011. Usage agricole des eaux souterraines et initiatives de gestion au Maghreb: défis et opportunités pour un usage durable des aquifères. *Note Econ. la BAD* 1–24.
- Fofack, R., 2015. The social and political impact of the privatization of groundwater: conflict and cooperation around the aquifer of Saïss, Morocco, in: Brebbia, C.-A. (Ed.), *Water and Society III*. WIT Press, pp. 43–53. doi:10.2495/WS150041
- Fofack, R., Kuper, M., Petit, O., 2015. Hybridation des règles d'accès à l'eau souterraine dans le saïss (Maroc): entre anarchie et Léviathan? *Etud. Rurales* 127–150.
- Fornés, J.M., la Hera, Á., Llamas, M.R., 2005. The silent revolution in groundwater intensive use and its influence in Spain. *Water Policy* 7, 253–268.
- Foster, S., Chilton, J., Moench, M., Cardy, F., Schiffler, M., 2000. Groundwater in rural development. *World Bank Tech. Pap.* 463.
- Foster, S.S.D., Chilton, P.J., 2003. Groundwater: the processes and global significance of

- aquifer degradation. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.* 358, 1957–1972. doi:10.1098/rstb.2003.1380
- Funtowicz, Sil.O., Ravetz, J.R., 1994. Uncertainty, complexity and post-normal science. *Environ. Toxicol. Chem.* 13, 1881–1885.
- Gameroff, T., Pommier, P., 2012. Diagnostic agraire d'une petite région de la plaine du Saïss ; Quelles dynamiques agraires à partir de conditions différenciées d'accès à l'eau ?Mémoire de fin d'étude AgroParisTech, 224p.
- Gebregziabher, G., Namara, R.E., Holden, S., 2009. Poverty reduction with irrigation investment: An empirical case study from Tigray, Ethiopia. *Agric. Water Manag.* 96, 1837–1843. doi:10.1016/j.agwat.2009.08.004
- Gelhar, L.W., 1986. Stochastic subsurface hydrology from theory to applications. *Water Resour. Res.* 22.
- Giordano, M., 2009. Global groundwater? Issues and solutions. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 34, 153–178. doi:10.1146/annurev.enviro.030308.100251
- Giordano, M., de Fraiture, C., 2014. Small private irrigation: Enhancing benefits and managing trade-offs. *Agric. Water Manag.* 131, 175–182.
- Giordano, M., Shah, T., 2014. From IWRM back to integrated water resources management. *Int. J. Water Resour. Dev.* 30, 364–376.
- Giordano, M., Villholth, K.G., 2007. The agricultural groundwater revolution: opportunities and threats to development. CABI.
- Gleeson, T., VanderSteen, J., Sophocleous, M.A., Taniguchi, M., Alley, W.M., Allen, D.M., Zhou, Y., 2010. Groundwater sustainability strategies. *Nat. Geosci.* 3, 378–379.
- Green, D., 2012. From poverty to power: How active citizens and effective states can change the world. Oxfam.
- Grellet, G., 2001. Systèmes d'irrigation et droits de propriété. *Tiers. Monde.* 42, 317–331. doi:10.3406/tiers.2001.1507
- Guyot, P., Honiden, S., 2006. Agent-based participatory simulations: Merging multi-agent systems and role-playing games. *J. Artif. Soc. Soc. Simul.* 9.
- GWP, 2000. Integrated water resources management, TAC Background papers. Committee, Global Water Partnership Technical Advisory.
- Hammani, A., Hartani, T., Kuper, M., Imache, A., 2009. Paving the way for groundwater management: Transforming information for crafting management rules. *Irrig. Drain.* 58.
- Hanjra, M.A., Ferede, T., Gutta, D.G., 2009a. Reducing poverty in sub-Saharan Africa through investments in water and other priorities. *Agric. Water Manag.* 96, 1062–1070.
- Hanjra, M.A., Ferede, T., Gutta, D.G., 2009b. Pathways to breaking the poverty trap in Ethiopia: Investments in agricultural water, education, and markets. *Agric. Water Manag.* 96, 1596–1604.

- Hanjra, M.A., Qureshi, M.E., 2010. Global water crisis and future food security in an era of climate change. *Food Policy* 35, 365–377.
- Harriss-White, B., Janakarajan, S., 1997. From Green Revolution to Rural Industrial Revolution in South India. *Econ. Polit. Wkly.* 1469–1477.
- Hernández-Mora, N., Llamas, R., Martínez Cortina, L., 2001. Misconceptions in Aquifer Over-exploitation: implications for Water Policy in Southern Europe, in: *Agricultural Use of Groundwater. Towards Integration Between Agricultural Policy and Water Resources Management*. Dordrecht, pp. 107–126. doi:10.1007/978-94-015-9781-4\_5
- Hernández-Mora, N., Martínez-Cortina, L., Llamas, M.R., Custodio, E., 2007. Groundwater issues in southern EU member states: Spain country report, Report to the European Academies of Sciences Advisory Council (EASAC). European Union Water Initiative for the Mediterranean Countries.
- Hoogesteger, J., Wester, P., 2015. Intensive groundwater use and (in)equity: Processes and governance challenges. *Environ. Sci. Policy* 51, 117–124. doi:10.1016/j.envsci.2015.04.004
- Hophmayer-Tokich, S., Krozer, Y., 2008. Public participation in rural area water management: experiences from the North Sea countries in Europe. *Water Int.* 33, 243–257.
- Houdret, A., 2008. The privatisation of irrigation water services: New partnerships and water conflicts in the El Guerdane project, Morocco, in: *13th World Water Congress, International Water Resources Association, Montpellier, France*. pp. 1–4.
- Hussain, I., Hanjra, M., 2004. Irrigation and poverty alleviation: review of the empirical evidence. *Irrig. Drain.* 15, 1–15. doi:10.1002/ird.114
- Imache, A., Dionnet, M., Bouarfa, S., Jamin, J.-Y., Hartani, T., Kuper, M., Le Goulven, P., 2009. Scénariologie participative: une démarche d'apprentissage social pour appréhender l'avenir de l'agriculture irriguée dans la Mitidja (Algérie). *Cah. Agric.* 18, 417–423. doi:10.1684/agr.2009.0324
- Jakeman, A., Barreteau, O., Hunt, R.J., Rinaudo, J.-D., Ross, A., 2016. *Integrated Groundwater Management*. Springer.
- Janakarajan, S., 1999. Conflicts over the invisible resource in Tamil Nadu, in: Marcus Moench, E.C. and A.D. (Ed.), *Rethinking the Mosaic: Investigations into Local Water Management*. Nepal Water Conservation Foundation, Kathmandu, and the Institute for Social and Environmental Transition, Boulder, Colorado, U.S.A., pp. 123–158.
- Janakarajan, S., 1993. Economic and social implications of groundwater irrigation: some evidence from South India. *Indian J. Agric. Econ.* 48, 65–72.
- Janakarajan, S., Moench, M., 2006. Are wells a potential threat to farmers' Well-being? Case of Deteriorating Groundwater Irrigation in Tamil Nadu. *Econ. Polit. Wkly.* 3977–3987.
- Jayaraman, R., Lanjouw, P., 1999. The evolution of poverty and inequality in Indian villages.

- World Bank Res. Obs. 14, 1–30.
- Jha, B.M., Sinha, S.K., 2009. Towards better management of ground water resources in India. *Q. J.* 24, 1–20.
- Jim Yeh, T., 1992. Stochastic modelling of groundwater flow and solute transport in aquifers. *Hydrol. Process.* 6, 369–395.
- Jønch-Clausen, T., Fugl, J., 2001. Firming up the conceptual basis of integrated water resources management. *Int. J. Water Resour. Dev.* 17, 501–510.
- Karami, E., Hayati, D., 2005. Rural poverty and sustainability: the case of groundwater depletion in Iran. *Asian J. Water, Environ. Pollut.* 2, 51–61.
- Keddal, H., N’dri, Y.J., 2008. Impacts de l’intensification agricole sur la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines. *Art 1*, 13–29.
- Kemper, K.E., 2004. Groundwater - from development to management. *Hydrogeol. J.* 12, 3–5. doi:10.1007/s10040-003-0305-1
- Kifanyi, G.E., Ndambuki, J.M., Odai, S.N., 2016. A Quantitative Groundwater Resource Management under Uncertainty Using a Retrospective Optimization Framework. *Sustainability* 9, 2.
- Knegt, J.F., Vincent, L.F., 2001. From open access to access by all: restating challenges in designing groundwater management in Andhra Pradesh, India, in: *Natural Resources Forum. Wiley Online Library*, pp. 321–331.
- Konikow, L.F., Bredehoeft, J.D., 1992. Ground-water models cannot be validated. *Adv. Water Resour.* 15, 75–83.
- Konikow, L.F., Kendy, E., 2005. Groundwater depletion: A global problem. *Hydrogeol. J.* 13, 317–320.
- Kulkarni, H., Shah, M., Shankar, P.S.V., 2015. Shaping the contours of groundwater governance in India. *J. Hydrol. Reg. Stud.* 4, 172–192.
- Kuper, M., Ameer, F., Hammani, A., 2017. Unraveling the enduring paradox of increased pressure on groundwater through efficient drip Irrigation, in: Venot, J.-P., Kuper, M., Zwarteveen, M. (Eds.), *Drip Irrigation for Agriculture: Untold Stories of Efficiency, Innovation and Development*. Routledge.
- Kuper, M., Bouarfa, S., Errahj, M., Faysse, N., Hammani, A., Hartani, T., Marlet, S., Zairi, A., Bahri, A., Debbarh, A., 2009a. A crop needs more than a drop: towards a new praxis in irrigation management in North Africa. *Irrig. Drain.* 58.
- Kuper, M., Dionnet, M., Hammani, A., Bekkar, Y., Garin, P., Bluemling, B., 2009b. Supporting the shift from state water to community water: lessons from a social learning approach to designing joint irrigation projects in Morocco. *Ecol. Soc.* 14.
- Kuper, M., Faysse, N., Hammani, A., Hartani, T., Marlet, S., Hamamouche, M.F., Ameer, F., 2016. Liberation or Anarchy? The Janus Nature of Groundwater Use on North Africa’s

- New Irrigation Frontiers, in: Jakeman, A., Barreteau, O., Hunt, R., Rinaudo, J.D., Ross, A. (Eds.), *Integrated Groundwater Management. Concepts, Approaches and Challenges*. Springer.
- Kuper, M., Hammani, A., Chohin, A., Garin, P., Saaf, M., 2012. When groundwater takes over: Linking 40 years of agricultural and groundwater dynamics in a large-scale irrigation scheme in morocco. *Irrig. Drain.* 61, 45–53. doi:10.1002/ird.1653
- Laraichi, S., Hammani, A., Bouignane, A., 2016. Data integration as the key to building a decision support system for groundwater management: Case of Saiss aquifers, Morocco. *Groundw. Sustain. Dev.* 2, 7–15. doi:10.1016/j.gsd.2016.04.003
- Larson, A.M., Soto, F., 2008. Decentralization of natural resource governance regimes. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 33, 213.
- Lawler, E.J., Yoon, J., 1996. Commitment in exchange relations: Test of a theory of relational cohesion. *Am. Sociol. Rev.* 89–108.
- Lejars, C., Courilleau, S., 2015. Impact du développement de l'accès à l'eau souterraine sur la dynamique d'une filière irriguée. Le cas de l'oignon d'été dans le Saïs au Maroc. *Cah. Agric.* 24, 1–10. doi:10.1684/agr.2014.0729
- Lejars, C., Daoudi, A., Amichi, H., 2017. The key role of supply chain actors in groundwater irrigation development in North Africa. *Hydrogeol. J.* doi:10.1007/s10040-017-1571-7
- Lightfoot, D.R., 1996. Moroccan khattara: traditional irrigation and progressive desiccation. *Geoforum* 27, 261–273.
- Llamas, M.R., Custodio, E., 2003. Intensive use of groundwater: a new situation which demands proactive action. *Intensive use Groundw. Challenges Oppor.* 13–31.
- Llamas, M.R., Custodio, E., 2002. Intensive use of groundwater: challenges and opportunities, The Netherlands, Swets and Zeitlinger.
- Llamas, M.R., Martínez-Santos, P., 2006. Significance of the Silent Revolution of intensive groundwater use in world water policy. *Water Cris. Myth or Real.* 163–180.
- Llamas, R., Back, W., Margat, J., 1992. Groundwater use: equilibrium between social benefits and potential environmental costs. *Appl. Hydrogeol.* 1, 3–14.
- Llamas, R., Martínez-Santos, P., 2005. Intensive groundwater use: a silent revolution that cannot be ignored. *Water Sci. Technol.* 51, 167–174.
- Llamas, R., Martínez-Santos, P., 2005. Intensive groundwater use: silent revolution and potential source of social conflicts. *J. Water Resour.* 131, 337–341. doi:10.1061/(ASCE)0733-9496(2005)131:5(337)
- Lu, F., Ocampo-Raeder, C., Crow, B., 2014. Equitable water governance: future directions in the understanding and analysis of water inequities in the global South.
- Ludwig, D., Hilborn, R., Walters, C., 1993. Uncertainty, resource exploitation, and conservation: lessons from history. *Ecol. Appl.* 548–549.

- Madhusudan Bhattarai et al., 2001. Irrigation Impacts on Income Inequality and Poverty Alleviation (working paper).
- Mahdi, M., 2014. Devenir du foncier agricole au Maroc. Un cas d'accaparement des terres. *New Mediterr.* 13, 2–10.
- Maréchal, J.-C., Dewandel, B., Ahmed, S., Galeazzi, L., Zaidi, F.K., 2006. Combined estimation of specific yield and natural recharge in a semi-arid groundwater basin with irrigated agriculture. *J. Hydrol.* 329, 281–293.
- Margat, J., 2008. Exploitations et utilisations des eaux souterraines dans le monde, Coédition: UNESCO et BRGM, 52p.
- Margat, J., 1977. De la surexploitation des nappes souterraines. Orléans.
- Margat, J., 1955. Rapport sur la poursuite des recherches d'eaux profondes dans le centre du plateau de Meknès (Maroc) : Centre des études hydrogéologiques, section de Meknès.
- Margat, J., Van der Gun, J., 2013. *Groundwater around the World*. Leiden, Netherlands CRC Press.
- Massuel, S., Amichi, F., Ameer, F., Calvez, R., Jenhaoui, Z., Bouarfa, S., Kuper, M., Habaieb, H., Hartani, H., Hammani, A., 2017. Considering groundwater use to improve the assessment of groundwater pumping for irrigation in North Africa. *Hydrogeol. J.* doi:10.1007/s10040-017-1573-5
- Massuel, S., Perrin, J., Wajid, M., Mascré, C., Dewandel, B., 2009. A Simple, Low-Cost Method to Monitor Duration of Ground Water Pumping. *Groundwater* 47, 141–145.
- Meinzen-Dick, R.S., 1998. Groundwater markets in Pakistan: Institutional development and productivity impacts, in: *Markets for Water*. Springer, pp. 207–222.
- Mercoiret, M.-R., 2006. Les organisations paysannes et les politiques agricoles. *Afr. Contemp.* 135–157.
- Merrey, D.J., Drechsel, P., de Vries, F.W.T.P., Sally, H., 2005. Integrating “livelihoods” into integrated water resources management: taking the integration paradigm to its logical next step for developing countries. *Reg. Environ. Chang.* 5, 197–204.
- Milone, P., 2009. *Agriculture in transition: A neo-institutional analysis*. Uitgeverij Van Gorcum.
- Mitchell, B., 2013. *Resource & environmental management*. Routledge.
- Mitchell, M., Curtis, A., Sharp, E., Mendham, E., 2012. Directions for social research to underpin improved groundwater management. *J. Hydrol.* 448–449, 223–231. doi:10.1016/j.jhydrol.2012.04.056
- Moench, M., 2004. Groundwater: the challenge of monitoring and management. *The world's water 2005*, 79–100.
- Moench, M., 2003. Groundwater and poverty: exploring the connections. *Intensive Use Groundw. Challenges Oppor.* 441–456.

- Moench, M., 2002. Water and the potential for social instability: Livelihoods, migration and the building of society. *Nat. Resour. Forum* 26, 195–204. doi:10.1111/0165-0203.00021
- Moench, M., 1999. Addressing Constraints in Complex Systems, in: Marcus Moench, E.C. and A.D. (Ed.), *Rethinking the Mosaic: Investigations into Local Water Management*. Nepal Water Conservation Foundation, Kathmandu, and the Institute for Social and Environmental Tr, pp. 1–56.
- Molinas, J.R., 1998. The impact of inequality, gender, external assistance and social capital on local-level cooperation. *World Dev.* 26, 413–431.
- Molle, F., 2012a. La GIRE: anatomie d'un concept, in: Julien, F. (Ed.), *Gestion Intégrée Des Ressources En Eau : Paradigme Occidental, Pratiques Africaines*. Presses de l'Université du Québec, pp. 23–53.
- Molle, F., 2012b. La gestion de l'eau et les apports d'une approche par la political ecology. *L'approche Polit. Ecol. Pouvoir, savoir, environnement*, Paris, Quae 219–240.
- Molle, F., 2011. Politiques agraires et surexploitation de l'eau au Maghreb et au Machrek. *Pouvoirs, sociétés Nat. au sud la Méditerranée* 109–130.
- Molle, F., Shah, T., Barker, R., 2003. The Groundswell of Pumps : Multilevel Impacts of a Silent Revolution 1–18.
- Mukherji, A., 2007. Implications of alternative institutional arrangements in groundwater sharing: Evidence from West Bengal. *Econ. Polit. Wkly.* 2543–2564.
- Mukherji, A., 2006. Political ecology of groundwater: The contrasting case of water-abundant West Bengal and water-scarce Gujarat, India. *Hydrogeol. J.* 14, 392–406. doi:10.1007/s10040-005-0007-y
- Mukherji, A., Shah, T., 2005. Groundwater socio-ecology and governance: A review of institutions and policies in selected countries. *Hydrogeol. J.* 13, 328–345. doi:10.1007/s10040-005-0434-9
- Musemwa, L., Mushunje, A., 2012. Land reform as a strategy of breaking the circles of poverty in former colonized states of developing countries: a review. *African J. Agric. Res.* 7, 4344–4351. doi:10.5897/AJAR12.002
- Namara, R.E., Hanjra, M.A., Castillo, G.E., Ravnborg, H.M., Smith, L., Van Koppen, B., 2010. Agricultural water management and poverty linkages. *Agric. Water Manag.* 97, 520–527. doi:10.1016/j.agwat.2009.05.007
- Ndambuki, J.M., 2001. *Multi-Objective Groundwater Quantity Management. A Stochastic Approach*.
- Ndambuki, J.M., Otieno, F.A.O., Stroet, C.B.M., Veling, E.J.M., 2000. Groundwater management under uncertainty: a multi-objective approach. *WATER SA-PRETORIA*-26, 35–42.
- Neal, M.J., Greco, F., Connell, D., Conrad, J., 2016. The Social-Environmental Justice of Groundwater Governance, in: *Integrated Groundwater Management*. Springer, pp. 253–



- Neal, M.J., Lukasiewicz, A., Syme, G.J., 2014. Why justice matters in water governance: some ideas for a “water justice framework.” *Water Policy* 16, 1–18.
- Oki, T., Kanae, S., 2006. Global hydrological cycles and world water resources. *Science* (80-). 313, 1068–1072.
- Oreskes, N., Shrader-Frechette, K., Belitz, K., 1994. Verification, validation, and confirmation of numerical models in the earth sciences. *Science* (80-). 263, 641–646.
- Ostrom, E., 1990. *Governing the commons: The evolution of institutions for collective action*. Cambridge University Press Cambridge:
- Ostrom, E., Burger, J., Field, C.B., Norgaard, R.B., Policansky, D., 1999. Revisiting the commons: local lessons, global challenges. *Science* (80-). 284, 278–282.
- Pahl-Wostl, C., Craps, M., Dewulf, A., Mostert, E., Tabara, D., Taillieu, T., 2007. Social learning and water resources management. *Ecol. Soc.* 12.
- Petit, O., 2016. Paradise lost? The difficulties in defining and monitoring Integrated Water Resources Management indicators. *Curr. Opin. Environ. Sustain.* 21, 58–64. doi:10.1016/j.cosust.2016.11.006
- Petit, O., 2009. La politique de gestion des eaux souterraines en France. *Econ. Rural.* 50–64.
- Petit, O., 2005. La gouvernance des eaux souterraines et de l’irrigation en Inde : entre régulation publique et participation locale des usagers, in: Froger, G., Mainguy, C., Brot, J., Gerardin, H. (Eds.), *Quels Acteurs Pour Quel Développement?* KARTHALA Editions, Paris, pp. 265–278.
- Petit, O., Baron, C., 2009. Integrated Water Resources Management: From general principles to its implementation by the state. The case of Burkina Faso, in: *Natural Resources Forum*. Wiley Online Library, pp. 49–59.
- Petit, O., Martin, V., Kuper, M., Ameer, F., Papin-Stammose, C., 2015. Worker, Peasant or Entrepreneur? Analysis of the Entrepreneurial Logics and Practices of Family Farmers in Agrarian Reform Cooperatives in the Saiss (Morocco), in: *Innovate to Improve Irrigation Performances*. CIID, 26e Conférence régionale euro-méditerranéenne. 12- 15 octobre 2015, Montpellier, France.
- Petit, O., Romagny, B., 2009. La reconnaissance de l’eau comme patrimoine commun : quels enjeux pour l’analyse économique ? *Mondes Dev.* 145, 29. doi:10.3917/med.145.0029
- Piketty, T., 2013. *Le capital au XXIe siècle*. Seuil.
- Postel, S., 1999. *Pillar of sand: can the irrigation miracle last?* WW Norton & Company.
- Prakash, A., 2008. *Political economy of groundwater governance in Gujarat: a micro-level analysis*. Sage: New Delhi.
- Prakash, A., 2005. *The dark zone : groundwater irrigation, politics and social power in North Gujarat*, Wageningen University water resources series 7.

- Quarouch, H., Kuper, M., Abdellaoui, E.H., Bouarfa, S., 2014. Eaux souterraines, sources de dignité et ressources sociales : cas d'agriculteurs dans la plaine du Saïss au Maroc. *Cah. Agric.* 23, 158–165.
- Reddy, V.R., 2005. Costs of resource depletion externalities: a study of groundwater overexploitation in Andhra Pradesh, India. *Environ. Dev. Econ.* 10, 533–556.
- Remini, B., Achour, B., Kechad, R., 2010. La foggara en Algérie: un patrimoine hydraulique mondial. *Rev. des Sci. l'eau/Journal Water Sci.* 23, 105–117.
- Remini, B., Kechad, R., Achour, B., 2014. The collecting of groundwater by the qanats: a millennium technique decaying. *LARHYSS J.* ISSN 1112-3680.
- Ribot, C.J., 2002. La décentralisation démocratique des ressources naturelles. Institutionnaliser la Particip. Pop. Inst. des Ressources Mond. World Resour. Inst. (WRI), Washingt.
- Ribot, J.C., Agrawal, A., Larson, A.M., 2006. Recentralizing while decentralizing: how national governments reappropriate forest resources. *World Dev.* 34, 1864–1886.
- Rigg, J., 2006. Land, farming, livelihoods, and poverty: Rethinking the links in the Rural South. *World Dev.* 34, 180–202. doi:10.1016/j.worlddev.2005.07.015
- Rodell, M., Velicogna, I., Famiglietti, J.S., 2009. Satellite-based estimates of groundwater depletion in India. *Nature* 460, 999–1002.
- Rodríguez-Estrella, T., 2012. The problems of overexploitation of aquifers in semi-arid areas: the Murcia Region and the Segura Basin (South-east Spain) case. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.* 9, 5729–5756.
- Rodríguez-Estrella, T., 2014. The problems of overexploitation of aquifers in semi-arid areas: characteristics and proposals for mitigation. *Bol. Geol. Min* 125, 91–109.
- Rogers, P., 2006. Water governance, water security and water sustainability. *Water Cris. Myth or Real.* 3–36.
- Rowe, G., Frewer, L.J., 2004. Evaluating public-participation exercises: a research agenda. *Sci. Technol. Human Values* 29, 512–556.
- Ruttan, L.M., 2008. Economic heterogeneity and the commons: Effects on collective action and collective goods provisioning. *World Dev.* 36, 969–985.
- Ruud, N., Harter, T., Naugle, A., 2004. Estimation of groundwater pumping as closure to the water balance of a semi-arid, irrigated agricultural basin. *J. Hydrol.* 297, 51–73.
- Saleth, R.M., 1994. Groundwater markets in India: A legal and institutional perspective. *Indian Econ. Rev.* 157–176.
- Sarkar, A., 2011. Socio-economic implications of depleting groundwater resource in Punjab: a comparative analysis of different irrigation systems. *Econ. Polit. Wkly.* 46, 59–66.
- Scherr, S.J., 2000. A downward spiral? Research evidence on the relationship between poverty and natural resource degradation. *Food Policy* 25, 479–498.

- Sellika, I.E., Faysse, N., Rinaudo, J.-D., Errahj, M., 2016. Concilier développement agricole et usage pérenne des eaux souterraines: un dialogue multi-acteurs dans la zone d'Ain Timguenay (province de Séfrou). *Altern. Rural*.
- Shah, T., 2010. *Taming the anarchy: Groundwater governance in South Asia*. Routledge.
- Shah, T., 2007. The groundwater economy of South Asia: an assessment of size, significance and socio-ecological impacts, in: *The Agricultural Groundwater Revolution: Opportunities and Threats to Development*. CABI: Wallingford, UK, pp. 7–36.
- Shah, T., 1993. *Groundwater markets and irrigation development*. Oxford University Press.
- Shah, T., 1985. *Transforming ground water markets into powerful instruments of small farmer development: Lessons from the Punjab, Uttar Pradesh and Gujarat*. Agricultural Administration Unit, Overseas Development Institute.
- Shah, T., Bhatt, S., Shah, R.K., Talati, J., 2008. Groundwater governance through electricity supply management: Assessing an innovative intervention in Gujarat, western India. *Agric. Water Manag.* 95, 1233–1242. doi:10.1016/j.agwat.2008.04.006
- Shah, T., Bhattacharya, S., 1993. *Farmer organisations for lift irrigation: Irrigation companies and tubewell co-operatives of Gujarat*. ODI/IIMI Irrig. Manag. Netw. Pap. (United Kingdom).
- Shah, T., Molden, D., Sakthivadivel, R., Seckler, D., 2000. *Groundwater: Overview of opportunities and challenges*. IWMI.
- Shah, T., Raju, K.V., 1988. Ground water markets and small farmer development. *Econ. Polit. Wkly.* A23–A28.
- Shah, T., Roy, A.D., Qureshi, A.S., Wang, J., 2003. Sustaining Asia's groundwater boom: An overview of issues and evidence. *Nat. Resour. Forum* 27, 130–141. doi:10.1111/1477-8947.00048
- Shah, T., Singh, O.P., 2004. Irrigation development and rural poverty in Gujarat, India: A disaggregated analysis. *Water Int.* 29, 167–177.
- Shah, T., Singh, O.P., Mukherji, A., 2006. Some aspects of South Asia's groundwater irrigation economy: Analyses from a survey in India, Pakistan, Nepal Terai and Bangladesh. *Hydrogeol. J.* 14, 286–309. doi:10.1007/s10040-005-0004-1
- Shah, T., Van Koppen, B., 2006. Is India ripe for integrated water resources management? Fitting water policy to national development context. *Econ. Polit. Wkly.* 3413–3421.
- Siebert, S., Burke, J., Faures, J.-M., Frenken, K., Hoogeveen, J., Döll, P., Portmann, F.T., 2010. Groundwater use for irrigation—a global inventory. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 14, 1863–1880.
- Singh, C., 1995. Research agenda for groundwater law in India, in: Marcus, M. (Ed.), *Groundwater Law: The Growing Debate*. VIKSAT-Pacific Institute Collaborative Groundwater Project, pp. 174–180.

- Sivramkrishna, S., Jyotishi, A., 2009. A heuristic analysis of equity and equality in the institutionalisation of property rights: the Baliraja water distribution experiment, India. *Int. J. Agric. Resour. Gov. Ecol.* 8, 90–106.
- Sraïri, M.T., Benjelloun, R., Karrou, M., Ates, S., Kuper, M., 2016. Biophysical and economic water productivity of dual-purpose cattle farming. *animal* 10, 283–291.
- Srinivasan, V., Kulkarni, S., 2014. Examining the emerging role of groundwater in water inequity in India. *Water Int.* 39, 172–186. doi:10.1080/02508060.2014.890998
- Steins, N.A., Edwards, V.M., 1999. Platforms for collective action in multiple-use common-pool resources. *Agric. Human Values* 16, 241–255.
- Sun, R., Liu, Y., Qian, Y., Villholth, K.G., 2009. Agricultural groundwater issues in north china: a case study from Zhengzhou Municipal area, in: Mukherji, A., Villholth, K., Sharma, B., Wang, J. (Eds.), *Groundwater Governance in the Indo-Gangetic and Yellow River Basins*. CRC Press, p. 183.
- Suresh, A., Raju, S.S., 2014. Poverty and sustainability implications of groundwater based irrigation: Insights from Indian experience. *Econ. Aff.* 59, 311.
- Theesfeld, I., 2010. Institutional challenges for national groundwater governance: policies and issues. *Ground Water* 48, 131–142.
- Tian, J., Li, C., Liu, J., Yu, F., Cheng, S., Zhao, N., Wan Jaafar, W.Z., 2016. Groundwater Depth Prediction Using Data-Driven Models with the Assistance of Gamma Test. *Sustainability* 8, 1076.
- Turton, A.R., Hattingh, J.H., Maree, G.A., Roux, D.J., Claassen, M., Strydom, W.F., 2007. *Governance as a triologue: Government-Society-Science in transition*. Springer Science & Business Media.
- UNEP, 2012. Status report on the application of integrated approaches to water resources management, United Nations Environment Programme: Nairobi, Kenya.
- Usunoff, E., 2005. Water management issues related to aquifer intensive use. *Gr. Water Intensive Use* 309–318.
- Van Der Ploeg, J.D., 2014. *paysans du XXIe siècle: mouvements de repaysanisation dans l'Europe d'aujourd'hui*, Paris: Édi. ed, Économie rurale.
- Varughese, G., Ostrom, E., 2001. The contested role of heterogeneity in collective action: some evidence from community forestry in Nepal. *World Dev.* 29, 747–765.
- Villholth, K., Giordano, M., 2007. Groundwater use in a global perspective—can it be managed, in: Giordano, M., Karen, G.V. (Eds.), *The Agricultural Groundwater Revolution: Opportunities and Threats to Development*. International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka, pp. 393–402.
- Wada, Y., Beek, Lph., Bierkens, M.F.P., 2012. Nonsustainable groundwater sustaining irrigation: A global assessment. *Water Resour. Res.* 48.

- Wada, Y., van Beek, L.P.H., van Kempen, C.M., Reckman, J.W.T.M., Vasak, S., Bierkens, M.F.P., 2010. Global depletion of groundwater resources. *Geophys. Res. Lett.* 37.
- Wang, D., Cai, X., 2009. Estimating groundwater pumping and return flow based on hydrologic recession analysis, in: *World Environmental and Water Resources Congress 2009: Great Rivers*. pp. 1–10.
- Wang, J., Huang, J., Huang, Q., Rozelle, S., Farnsworth, H.F., 2009. The evolution of groundwater governance: productivity, equity and changes in the level of China's aquifers. *Q. J. Eng. Geol. Hydrogeol.* 42, 267–280.
- Wang, Z., Huang, Q., Giordano, M., 2015. The effect of private tubewells on income and income inequality in rural Pakistan. *J. Hydrol.* 527, 50–61. doi:10.1016/j.jhydrol.2015.04.034
- Wester, P., Bron, J., 1998. *Coping with water: water management in flood control and drainage systems in Bangladesh*. ILRI.
- Woldt, W., Bogardi, I., 1992. Ground water monitoring network design using multiple criteria decision making ant) geostatistics1.
- World, B., 2005. *World development report 2006: Equity and development*. Oxford University Press, Incorporated.
- Xie, M., 2006. Integrated water resources management (IWRM)–introduction to principles and practices, in: *Africa Regional Workshop on IWRM, Nairobi, Oct.*
- Zhang, X., Zhang, L., He, C., Li, J., Jiang, Y., Ma, L., 2014. Quantifying the impacts of land use/land cover change on groundwater depletion in Northwestern China - A case study of the Dunhuang oasis. *Agric. Water Manag.* 146, 270–279. doi:10.1016/j.agwat.2014.08.017
- Zwarteveen, M.Z., Boelens, R., 2014. Defining, researching and struggling for water justice: Some conceptual building blocks for research and action. *Water Int.* 39, 143–158.

## Productions scientifiques en lien avec la thèse

- Dugué, P., Lejars, C., **Ameur, F.**, Amichi, F., Braiki, H., Burte, J., Errahj, M., Hamamouche, M., Kuper, M., 2014. Recompositions des agricultures familiales au Maghreb : une analyse comparative dans trois situations d'irrigation avec les eaux souterraines. *Revue Tiers Monde* 4, 99–118. doi:10.3917/rtm.220.0101
- Petit, O., Martin, V., Kuper, M., **Ameur, F.**, Papin-Stammose, C., 2015. Worker, Peasant or Entrepreneur ? Analysis of the Entrepreneurial Logics and Practices of Family Farmers in Agrarian Reform Cooperatives in the Saïss (Morocco), in: *Innovate to Improve Irrigation Performances. CIID, 26e Conférence régionale euro-méditerranéen*. 12- 15 octobre 2015, Montpellier, France.
- Ameur, F.**, Quarouch, H., Dionnet, M., Lejars, C., Kuper, M., 2015. Outiller un débat sur le rôle des jeunes agriculteurs dans une agriculture en transition dans le Saïss (Maroc). *Cahiers Agricultures* 24, 363–371.
- Dugue, P., **Ameur, F.**, Benouniche, M., El Amrani, M., & Kuper, M. 2015. Lorsque les agriculteurs familiaux innovent : cas des systèmes de production irrigués de la plaine du Saïs (Maroc). *Agronomie, Environnement et Sociétés*, 5(2), 87-95.
- Ameur, F.**, Kuper, M., Hammani, A., 2017. Méthodes d'estimation et d'extrapolation des pompages des eaux souterraines par l'intégration des pratiques locales : Cas de la plaine du Saïss au Maroc. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires* 5, 52–63.
- Kuper, M., Hammani, A., **Ameur, F.**, Hamamouche, M. F., Massuel, S., & Hartani, T. (2016). What should be done with North Africa's groundwater resources? *Atlas NEPAD*, DOI : 10.13140/RG.2.2.35799.06566
- Kuper, M., Faysse, N., Hammani, A., Hartani, T., Marlet, S., Hamamouche, M.F., **Ameur, F.**, 2016. Liberation or Anarchy? The Janus Nature of Groundwater Use on North Africa's New Irrigation Frontiers, in: Jakeman, A., Barreteau, O., Hunt, R., Rinaudo, J.D., Ross, A. (Eds.), *Integrated Groundwater Management. Concepts, Approaches and Challenges*. Springer International. pp. 583-615. ISBN: 978-3-319-23576-9.
- Ameur, F.**, Amichi, H., Kuper, M., Hammani, A., 2017. Specifying the differentiated contribution of farmers to groundwater depletion in two irrigated areas in North Africa. *Hydrogeology Journal*, doi:10.1007/s10040-017-1569-1
- Massuel, S., Amichi, F., **Ameur, F.**, Calvez, R., Jenhaoui, Z., Bouarfa, S., Kuper, M., Habaieb, H., Hartani, H., Hammani, A., 2017. Considering groundwater use to improve the assessment of groundwater pumping for irrigation in North Africa. *Hydrogeology Journal*, doi:10.1007/s10040-017-1573-5

Kuper, M., **Ameur, F.**, Hammani, A., 2017. Unraveling the enduring paradox of increased pressure on groundwater through efficient drip irrigation, in: Venot, J.-P., Kuper, M., Zwarteveen, M. (Eds.), Drip Irrigation for Agriculture: Untold Stories of Efficiency, Innovation and Development. Routledge/Earth Scan Series, Chapter 5. ISBN: 978-1-13-868707-3

**Ameur, F.**, Kuper, M., Lejars, C., Dugué, P., soumis. Prosper, survive or exit: contrasted fortunes of farmers in the groundwater economy in the Saïss plain (Morocco). Agricultural Water Management.

## Annexe 1. Besoins en eau d'irrigation et volumes d'eau apportés dans la zone d'étude

Après avoir estimé les volumes d'eau apportés par l'irrigation dont la méthodologie de calcul est présentée en détail dans le chapitre 2, et afin de qualifier les pratiques d'irrigations des agriculteurs, nous avons déterminé les besoins en eau d'irrigation. Les résultats de ces calculs ont été comparés aux valeurs de besoins en eau d'irrigation (tableau A).

**Tableau A** : Besoins en eau d'irrigation et volumes d'eau apportés dans la zone d'étude

| <b>Cultures</b>                   | <b>Etc.<br/>(mm/an)</b> | <b>Pluie efficace<br/>(mm/an)</b> | <b>Besoin en eau<br/>d'irrigation<br/>(mm/an)</b> | <b>Gamme des<br/>volumes<br/>apportés<br/>(mm/an)</b> |
|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------|---|---|
| <b>Pomme de terre<br/>d'été</b>   | 536                     | 151                               | 386   | 630-920   |
| <b>Pomme de terre<br/>d'hiver</b> | 293                     | 344                               | 32  | 190-290   |
| <b>Oignon d'été</b>               | 537                     | 99                                | 442   | 390-1460  |
| <b>Oignon hiver</b>               | 215                     | 266                               | 15  | 230   |
| <b>Olivier</b>                    | 751                     | 295                               | 496   | 340   |
| <b>Pommier</b>                    | 722                     | 192                               | 598   | 760   |
| <b>Abricotier</b>                 | 605                     | 143                               | 478   | 500   |
| <b>Prunier</b>                    | 593                     | 152                               | 446   | 420-540   |
| <b>Pêcher et<br/>Nectarinier</b>  | 642                     | 153                               | 504   | 550-600   |
| <b>Raisin de table</b>            | 628                     | 170                               | 499   | 650   |
| <b>Haricot sec</b>                | 406                     | 180                               | 240   | 280   |
| <b>Fève</b>                       | 260                     | 347                               | 25  | 50  |
| <b>Melon</b>                      | 377                     | 179                               | 227   | 150-250   |
| <b>Ail</b>                        | 351                     | 216                               | 189   | 230   |
| <b>Tabac</b>                      | 366                     | 176                               | 209   | 430   |
| <b>Luzerne</b>                    | 702                     | 514                               | 292   | 160-240   |
| <b>Maïs</b>                       | 409                     | 180                               | 265   | 210-590   |

La gamme des volumes d'eau apportés à l'échelle de la parcelle, présentée dans le tableau ci-dessus a été estimée à partir d'un suivi des irrigations effectué sur 20 exploitations agricoles où les deux types mesures essentielles ont été faites, à savoir la mesure des débits et l'estimation des durées de pompage par les enregistreurs de températures comme nous l'avons expliqué dans le deuxième chapitre. Durant ce suivi des irrigations, des enquêtes (chaque 10-15 jours) sur les calendriers d'irrigation ont été aussi effectuées afin de convertir les volumes pompés évalués à l'échelle des ouvrages de pompage aux volumes apportés par l'irrigation à l'échelle de la parcelle pour les différentes cultures.

Quant aux besoins en eau d'irrigation, ils ont été estimés à l'aide du logiciel Cropwat et



Climwat. Les paramètres météorologiques de la zone d'étude ont été obtenus grâce à l'application Climwat développée par la FAO, qui fournit des valeurs moyennes mensuelles (estimées sur le long terme) des données climatiques de plus 5000 stations pluviométriques réparties dans le monde, dont celle de Meknès (Figure A).

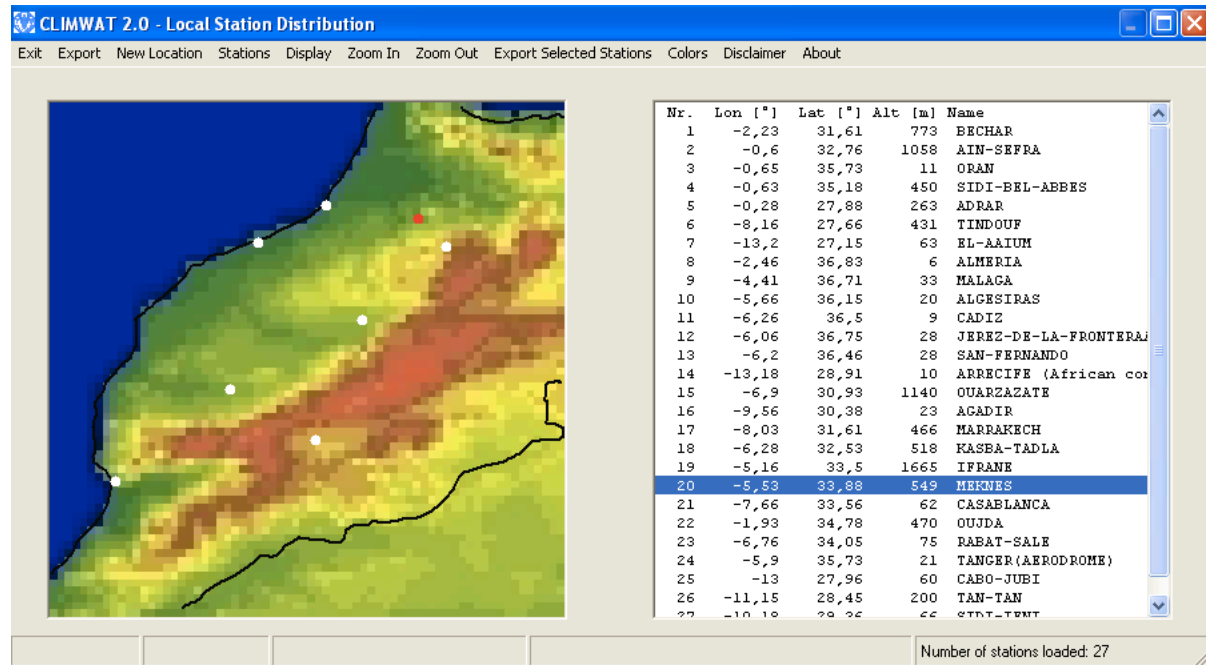


Figure A. Extraction des données climatiques par Climwat

Le téléchargement de ces données par le logiciel Climwat nous permet grâce au logiciel Cropwat de calculer les paramètres nécessaires aux calculs des besoins en eau d'irrigation. Par exemple, en téléchargeant dans Cropwat les données mensuelles moyennes (température maximale et minimale, humidité relative, vitesse du vent et insolation), le logiciel calcule le rayonnement solaire moyen et l'évapotranspiration de référence ( $ET_0$ ) par la méthode Penman-Monteith (Figure B). De la même manière, les précipitations effectives mensuelles ont été calculées en mobilisant les données sur les précipitations mensuelles (Figure C). Il s'agit ensuite de renseigner les données concernant les cultures, comme l'affectation des valeurs du coefficient cultural pour les différentes phases de développement des cultures. Nous avons utilisé, à ce stade de modélisation, les coefficients culturaux et les durées des différentes phases de croissance proposés par la FAO pour la zone méditerranéenne et pour les différentes cultures. Ce sont donc les principales étapes permettant le calcul des besoins en eau d'irrigation des cultures (Figure D).

Les résultats de la modélisation ont été aussi confrontés avec ceux obtenus par Benouniche (2014) pour les cultures maraîchères, dont les résultats de la modélisation oscillent entre 350 et 450 mm/an. Les petites marges de différences peuvent être expliquées par les séries des données climatiques sélectionnées (le nombre d'années) qui sont des paramètres plus sensibles que d'autres expliquant les différences dans les besoins en eau d'irrigation.

Ces modélisations nous permettent d'observer, dans l'ensemble, des pratiques de sur-

irrigation surtout pour les cultures les plus cultivées (voir l'exemple de l'oignon et de pomme de terre dans le tableau A), comme l'avait aussi constaté Benouniche (2014) dans une autre zone de la plaine du Saiss. Si l'on distingue les pratiques d'irrigation des différents types d'agriculteurs, l'écart entre les volumes d'eau apportés par l'irrigation et le besoin en eau d'irrigation peut être encore plus important comparé aux valeurs moyennes renseignées dans le Tableau A. Par exemple les locataires apportent en moyenne plus de 1200 mm/an pour la culture de l'oignon.

The screenshot shows the 'ETo Penman-Monteith par mois' software interface. The title bar reads 'ETo Penman-Monteith par mois - C:\Program Files (x86)\CLIMWAT 2.0 for CROPWAT ...'. The input fields are: Pays: Location 6, Station: MEKNES, Altitude: 549 m., Latitude: 33.88 °N, Longitude: 5.53 °O. Below the inputs is a table with 8 columns: Mois, Temp Min (°C), Temp Max (°C), Humidité (%), Vent (km/jour), Insolation (heures), Ray. (MJ/m²/jour), and ETo (mm/jour). The table contains monthly data from January to December, with a final row for the 'Moyenne' (Average).

| Mois           | Temp Min<br>°C | Temp Max<br>°C | Humidité<br>% | Vent<br>km/jour | Insolation<br>heures | Ray.<br>MJ/m²/jour | ETo<br>mm/jour |
|----------------|----------------|----------------|---------------|-----------------|----------------------|--------------------|----------------|
| Janvier        | 4.3            | 15.0           | 79            | 130             | 4.3                  | 8.9                | 1.26           |
| Février        | 5.1            | 16.3           | 76            | 130             | 5.5                  | 12.0               | 1.72           |
| Mars           | 7.0            | 18.8           | 70            | 130             | 6.0                  | 15.2               | 2.47           |
| Avril          | 8.5            | 21.5           | 73            | 130             | 7.0                  | 18.9               | 3.21           |
| Mai            | 10.7           | 24.7           | 64            | 130             | 8.7                  | 22.7               | 4.21           |
| Juin           | 13.7           | 29.6           | 63            | 130             | 9.5                  | 24.2               | 5.00           |
| Juillet        | 16.3           | 34.0           | 55            | 130             | 10.6                 | 25.5               | 5.84           |
| Août           | 17.0           | 34.1           | 51            | 130             | 10.1                 | 23.6               | 5.64           |
| Septembre      | 15.0           | 30.1           | 60            | 130             | 8.5                  | 19.1               | 4.32           |
| Octobre        | 12.1           | 25.5           | 68            | 130             | 6.7                  | 14.0               | 2.91           |
| Novembre       | 8.3            | 19.5           | 76            | 130             | 5.0                  | 9.9                | 1.75           |
| Décembre       | 5.3            | 15.7           | 76            | 130             | 4.0                  | 8.0                | 1.29           |
| <b>Moyenne</b> | <b>10.3</b>    | <b>23.7</b>    | <b>68</b>     | <b>130</b>      | <b>7.2</b>           | <b>16.8</b>        | <b>3.30</b>    |

Figure B. Calcul du rayonnement solaire et de l'évapotranspiration de référence par Cropwat

Précipitations par mois - C:\Program Files (x86)\CLIMWAT 2.0 for CROPWA...

Station  Méthode Précipitations eff.

|                  | Pluie        | Pluie eff.   |
|------------------|--------------|--------------|
|                  | mm           | mm           |
| <b>Janvier</b>   | 76.0         | 66.8         |
| <b>Février</b>   | 81.0         | 70.5         |
| <b>Mars</b>      | 71.0         | 62.9         |
| <b>Avril</b>     | 73.0         | 64.5         |
| <b>Mai</b>       | 43.0         | 40.0         |
| <b>Juin</b>      | 12.0         | 11.8         |
| <b>Juillet</b>   | 2.0          | 2.0          |
| <b>Août</b>      | 2.0          | 2.0          |
| <b>Septembre</b> | 12.0         | 11.8         |
| <b>Octobre</b>   | 48.0         | 44.3         |
| <b>Novembre</b>  | 77.0         | 67.5         |
| <b>Décembre</b>  | 81.0         | 70.5         |
| <b>Total</b>     | <b>578.0</b> | <b>514.6</b> |

Figure C. Calcul de la pluie efficace par Cropwat

Besoins en eau des cultures

Station ETo  Culture

Station Pluie  Date de plantation

| Mois       | Décade   | Phase    | Kc    | ETc     | ETc          | Pluie eff.  | Bes. Irr.    |
|------------|----------|----------|-------|---------|--------------|-------------|--------------|
|            |          |          | coeff | mm/jour | mm/dec       | mm/dec      | mm/dec       |
| <b>Avr</b> | <b>1</b> | Init     | 0.65  | 1.93    | 1.9          | 2.2         | 1.9          |
| <b>Avr</b> | <b>2</b> | Init     | 0.65  | 2.08    | 20.8         | 22.7        | 0.0          |
| <b>Avr</b> | <b>3</b> | Crois    | 0.67  | 2.39    | 23.9         | 19.6        | 4.3          |
| <b>Mai</b> | <b>1</b> | Crois    | 0.79  | 3.05    | 30.5         | 16.2        | 14.3         |
| <b>Mai</b> | <b>2</b> | Crois    | 0.90  | 3.81    | 38.1         | 13.5        | 24.6         |
| <b>Mai</b> | <b>3</b> | Mi-sais  | 1.00  | 4.46    | 49.1         | 10.3        | 38.8         |
| <b>Jui</b> | <b>1</b> | Mi-sais  | 1.00  | 4.76    | 47.6         | 6.5         | 41.1         |
| <b>Jui</b> | <b>2</b> | Mi-sais  | 1.00  | 5.02    | 50.2         | 3.1         | 47.1         |
| <b>Jui</b> | <b>3</b> | Mi-sais  | 1.00  | 5.30    | 53.0         | 2.3         | 50.8         |
| <b>Jui</b> | <b>1</b> | Arr-sais | 0.99  | 5.56    | 55.6         | 1.5         | 54.1         |
| <b>Jui</b> | <b>2</b> | Arr-sais | 0.93  | 5.52    | 55.2         | 0.2         | 55.0         |
| <b>Jui</b> | <b>3</b> | Arr-sais | 0.86  | 5.05    | 55.6         | 0.4         | 55.2         |
| <b>Aoû</b> | <b>1</b> | Arr-sais | 0.80  | 4.63    | 46.3         | 0.4         | 45.9         |
| <b>Aoû</b> | <b>2</b> | Arr-sais | 0.76  | 4.39    | 8.8          | 0.0         | 8.8          |
|            |          |          |       |         | <b>536.5</b> | <b>98.7</b> | <b>441.9</b> |

Figure D. Calcul des besoins en eau d'irrigation de la culture d'oignon par Cropwat

**Title:** The construction of overexploitation and the reproduction of inequalities in the access to and use of groundwater : A case study at the farm level in the Saïss (Morocco)

**Keywords :** Groundwater, overexploitation, inequalities, governance, participative approach, Saïss, Morocco.

### **Abstract :**

*In many semi-arid regions, groundwater use enabled agricultural intensification through so-called green revolutions. This intensification enabled farmers to mitigate the lack of water and generate more wealth. However, this also induced riskier pathways due to high production costs and volatile agricultural markets. This also caused overexploitation of groundwater resources in many areas, putting at risk the sustainability of the “groundwater economy” (GWE). New inequalities thus appear, as certain social categories cannot follow the declining water tables. The aim of this thesis is to analyze how the construction of overexploitation and the reproduction of inequalities in the access and the use of groundwater are mutually reinforcing. We adopted a “user perspective” in our research approach, as this perspective received little attention in the international debate on groundwater governance. The study was carried out in a small area of 4200 ha in the Saïss plain in Morocco. First a method was developed to specify the contributions of different social categories of farmer to overexploitation. Then the link between overexploitation and inequality was analyzed. The impact of both issues on the socio-economic differentiation of farms was then studied. Finally, a participatory approach was developed to involve farmers and institutional actors in a reflection on the agricultural future of the zone facing the twin problem of overexploitation and inequality. The results show the importance of direct measurement of groundwater withdrawals, in addition to indirect methods, to explain differences in irrigation practices. These measures specify the contributions of the different social categories of farmers to overexploitation, of which currently the entire agricultural sector is accused. The study shows that overexploitation cannot be dissociated from inequalities in access to and use of groundwater, both problems are part of a vicious cycle. Groundwater overexploitation exacerbates -and is exacerbated by- existing inequalities. This reciprocal relation explains the contrasting fortunes of farmers involved in the GWE in the Saïss. New investors are accumulating wealth by cultivating state-subsidized fruit trees and engaging in a land concentration process. Lessees show productivistic logic and generate considerable revenues at the expense of water and soil resources. Conversely, the assignees of the agrarian reform are ejected from this GWE, sometimes even poorer than they were before accessing it. They are caught in a centrifugal dynamic where the most vulnerable undergo socio-economic exclusion due to declining water tables and overproduction undermining the prices on the market, for which they are not responsible. Since financial capital has become the key factor in production systems under the GWE, the agrarian boom benefits farmers/entrepreneurs who are financially capable of bringing together all production factors. They are likely to continue intensive and high value-added agriculture, perhaps until the resource is depleted. Finally, our study questions the implications of such agricultural dynamics at the territorial scale through an intergenerational debate on the challenges to be overcome. The study revealed the entrepreneurial spirit of the sons of assignees coupled with a territorial anchorage, which could well constitute major assets for a more sustainable development of their territory. The thesis recommends making visible the inequalities related to the overexploitation problem. Knowing the amounts of extracted groundwater, where, and by whom, and clarifying the links between overexploitation and inequalities in access to and use of groundwater could provide useful information for more informed groundwater management in compliance with the principles of sustainability.*

**Titre :** Construction de la surexploitation et reproduction des inégalités d'accès et d'usage des eaux souterraines : Cas des exploitations agricoles dans le Saïss (Maroc)

**Mots clés :** Eau souterraine, surexploitation, inégalités, gouvernance, démarche participative, Saïss, Maroc.

### **Résumé :**

*Dans beaucoup de régions semi-arides, l'exploitation des eaux souterraines a accompagné une intensification agricole du type révolution verte, permettant aux agriculteurs de pallier le manque d'eau et de produire des richesses. Mais cela les a aussi amené sur des trajectoires risquées avec des coûts de production élevés et des marchés agricoles volatils. Cela s'accompagne d'une surexploitation courante mettant à risque la pérennité d'une véritable économie agricole basée sur les eaux souterraines. Certaines catégories sociales ne peuvent plus suivre les nappes en déclin et de nouvelles inégalités apparaissent. L'objectif de la thèse est d'analyser comment la construction de la surexploitation de la nappe et la reproduction des inégalités d'accès et d'usage des eaux souterraines se renforcent mutuellement. Nous avons choisi de mettre l'usager au centre de l'approche, puisque une telle perspective a reçu peu d'attention dans le débat international sur la gouvernance des eaux souterraines. L'étude s'est déroulée dans une zone de 4200 ha de la plaine du Saïss au Maroc. Nous avons développé une méthode pour préciser la contribution des différentes catégories sociales d'agriculteurs à la surexploitation des nappes. Puis nous avons étudié le lien entre la surexploitation et les inégalités (re)produites. Par la suite, nous avons analysé leur effet sur la différenciation socioéconomique des exploitations agricoles. Enfin, nous avons conçu et mis en œuvre une démarche participative pour impliquer les agriculteurs et les acteurs institutionnels dans une réflexion sur l'avenir agricole de la zone confrontée à cette double problématique. Nos résultats montrent l'importance de la mesure directe des prélèvements d'eau souterraine, en complément des méthodes indirectes, pour expliquer les différences des pratiques d'irrigation des usagers. Ces mesures précisent les contributions des différentes catégories d'agriculteurs à la surexploitation, habituellement imputée à tout le secteur agricole. L'étude montre que la surexploitation ne peut être dissociée des inégalités d'accès et d'usage des eaux souterraines, les deux problèmes s'entretiennent en un cercle vicieux. Cette relation réciproque explique les fortunes contrastées des agriculteurs du Saïss utilisant l'eau souterraine. Les nouveaux investisseurs accumulent des richesses en cultivant des arbres fruitiers subventionnés par l'État et s'engagent dans un processus de concentration foncière. Les locataires avec des logiques productivistes réalisent des revenus considérables au détriment des ressources en eau et en sol. A contrario, les anciens attributaires de la réforme agraire sortent de l'agriculture irriguée, parfois plus pauvres qu'ils n'étaient en accédant à l'eau souterraine. Pris dans une dynamique centrifuge, les plus vulnérables subissent une exclusion socio-économique à cause de la baisse des nappes et la surproduction minant les prix sur le marché, dont ils ne sont pas responsables. Le capital financier étant devenu le facteur clé dans les systèmes de production irriguée, ce boom agraire profite à des agriculteurs entrepreneurs, capables de réunir les facteurs de production. Ceux-ci continueront à exercer une agriculture intensive à forte valeur ajoutée, peut-être jusqu'à l'épuisement de la ressource. Enfin, l'étude interroge les implications de telles dynamiques agricoles à l'échelle territoriale par l'ouverture d'un débat intergénérationnel sur les défis à venir. L'étude a dévoilé l'esprit entrepreneurial des jeunes fils d'attributaires couplé à un ancrage territorial, qui pourraient constituer des atouts majeurs pour un développement plus durable du territoire. La thèse recommande de rendre visibles les inégalités afférentes au problème de surexploitation. Connaître les volumes d'eaux souterraines extraites, où, et par qui, et préciser les liens entre surexploitation et inégalités d'accès et d'usage de l'eau offrent des informations utiles pour une gestion plus éclairée des eaux souterraines en vue de territoires irrigués utilisant durablement leurs ressources.*