



HAL
open science

Renouveau d'un système irrigué communautaire suite au déverrouillage de l'accès aux eaux souterraines profondes. Cas du territoire oasien de Sidi Okba dans le Sahara Algérien

Meriem Farah Hamamouche

► To cite this version:

Meriem Farah Hamamouche. Renouveau d'un système irrigué communautaire suite au déverrouillage de l'accès aux eaux souterraines profondes. Cas du territoire oasien de Sidi Okba dans le Sahara Algérien. Hydrologie. AgroParisTech; Institut agronomique et vétérinaire Hassan II (Maroc), 2017. Français. NNT : 2017AGPT0013 . tel-02899644v2

HAL Id: tel-02899644

<https://pastel.hal.science/tel-02899644v2>

Submitted on 15 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°: 2017AGPT0013

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

Meriem Farah HAMAMOUCHE

le 29/09/2017

**Renouveau d'un système irrigué communautaire suite au
déverrouillage de l'accès aux eaux souterraines profondes
Cas du territoire oasien de Sidi Okba dans le Sahara algérien**

Directeur de thèse : **Marcel KUPER**

Jury

M. Ahmed BOUAZIZ, Professeur, IAV Hassan II
Mme. Akissa BAHRI, Professeur, INAT Tunis
Mme. Anne HONEGGER, Directeur de recherche, CNRS- ENS Lyon
M. Bruno ROMAGNY, Directeur de recherche, IRD
M. Ali HAMMANI, Professeur, IAV Hassan II
M. Tarik HARTANI, Professeur, Centre Universitaire de Tipaza

Président
Rapporteur
Rapporteur
Rapporteur
Examinateur
Examinateur

Sommaire

Chapitre 1. Introduction générale	8
1.1 Introduction	8
1.1.1 Rencontre avec Marc Côte, un des pères de la géographie saharienne	9
1.1.2 Rencontre avec le territoire oasien de Sidi Okba : entre complexité et paradoxes.....	9
1.1.3 Construire un dialogue avec la littérature	11
1.2 Les systèmes irrigués communautaires, d'un « modèle de façonnage des institutions » à une mise en difficulté de ces systèmes	13
1.2.1 La capacité d'adaptation intrinsèque des systèmes irrigués communautaires : institutions et infrastructures d'irrigation	14
1.2.2 Les vulnérabilités des systèmes irrigués communautaires face à la « modernité »	15
1.2.3 Renouveau des systèmes irrigués communautaires	17
1.3 L'eau et l'agriculture oasienne : l'eau raconte les transformations hydrauliques, territoriales et sociétales	20
1.3.1 Les oasis et leurs systèmes hydrauliques traditionnels.....	20
1.3.2 Transformations en lisière des anciennes oasis : continuités ou ruptures ?.....	22
1.4 Objectifs et questions de recherche	22
1.5 Territoire oasien de Sidi Okba	23
1.6 Construction d'un cadre d'analyse interdisciplinaire et multiscalair pour dénouer l'écheveau d'un système irrigué complexe	24
1.6.1 Entrée par les ressources en eau.....	26
1.6.2 Entrée par le triptyque acteur-institutions-infrastructures	29
1.6.3 Entrée par les politiques agricoles	32
1.6.4 Entrée par le territoire	33
1.6.5 Entrée par les exploitations agricoles	34
1.7 Organisation de la thèse	34
Chapitre 2. Émancipation des jeunes des oasis du Sahara algérien par le déverrouillage de l'accès à la terre et à l'eau	38
2.1 Introduction	39
2.2 Méthodologie	40
2.2.1 Le territoire oasien de Sidi Okba	40
2.2.2 Approche.....	41
2.3 Résultats	41
2.3.1 Colonisation de nouveaux espaces.....	42
2.3.1.1 Des fuites du barrage qui permettent une première extension.....	42
2.3.1.2 Le verrouillage étatique du foncier par la nationalisation des terres aârch (collectives).....	42
2.3.1.3 L'occupation par la force des terres à l'extérieur de la palmeraie, puis la régularisation et la reprise par les nouvelles politiques à partir de 1979.....	43
2.3.2 Déverrouillage des ressources en eaux souterraines.....	44
2.3.2.1 Le verrouillage des eaux de l'Oued El Abiod n'était que partiel	44
2.3.2.2 L'État accède aux eaux souterraines profondes	44
2.3.2.3 Une organisation collective dans l'ancienne palmeraie, des forages individuels en dehors.....	45
2.3.3 Facteurs favorisant l'émergence des nouvelles formes d'agriculture	45
2.3.4 Nouveaux agriculteurs et évolutions des rapports sociaux	46
2.3.4.1 Accès au statut d'agriculteur pour les jeunes descendants des khammès	46
2.3.4.2 Ouverture sur de nouveaux agriculteurs : arrivée des investisseurs	47
2.4 Discussion et conclusion	47
Chapitre 3. Utilisation conjuguée des ressources en eau de surface et souterraine dans un système irrigué communautaire – le cas de la palmeraie de Sidi Okba dans le Sahara algérien	50

3.1 Introduction	51
3.2 Methodology	52
3.2.1 Study area.....	52
3.2.2 Research approach	54
3.3 Results	55
3.3.1 A historical reading of water resources and the irrigation system of the Sidi Okba palm grove	55
3.3.1.1 First period: the spate irrigation system.....	56
3.3.1.2 Second period: Dam irrigation system	58
3.3.1.3 Third period: Groundwater-based irrigation system.....	60
3.3.2 Legacy of the collective surface irrigation system: actors, institutions and infrastructure... 62	
3.3.2.1 The irrigation community gradually recovered the management of all water resources	63
3.3.2.2 When the water discharge changed, the surface irrigation network was adapted again.....	64
3.3.2.3 Shaping new rules for low water discharges	67
3.4 Discussion	70
3.4.1 How to integrate groundwater resources in a surface irrigation system	70
3.4.2 Planned conjunctive use does not necessarily ensure the sustainability of irrigation systems	72
3.5 Conclusion: building on the legacy of the capacities of local irrigation communities	74
Chapitre 4. Emergence et chevauchement des marchés de service de l'eau souterraine dans une palmeraie au Sahara algérien	77
4.1 Introduction	78
4.2 Methodology	79
4.2.1 Study area.....	79
4.2.2 Research approach	81
4.3 Results	81
4.3.1 The underlying power games of extending the resource base by different groups of groundwater providers	82
4.3.1.1 The chronological emergence of the different groups of groundwater providers	82
State tube-wells conceded to an agricultural cooperative	83
Informal farmers associations	84
State subsidies of collective and private tube-wells: a way for small garden owners to gain access to groundwater.....	84
Private tube-wells.....	85
4.3.1.2 The overlapping and juxtaposition of the command areas of different groundwater service markets.....	85
4.3.2 The nature of the different groundwater service markets	86
4.3.3 The co-existence of rivalling groundwater service markets	88
4.3.3.1 Groundwater pricing strategies around the reference price of the agricultural cooperative.....	88
4.3.3.2 Playing on the quality of services to attract more water buyers	90
4.4 Discussion	92
4.4.1 Complex power relations underlying the development of the groundwater service markets.....	92
4.4.2 Rivalry, competition and mutual influence between co-existing groups of groundwater providers	93
4.5 Conclusion	94
Chapitre 5. Nouvelle lecture de la transformation de l'agriculture saharienne : continuités entre les anciennes oasis et leurs extensions (Algérie)	97
5.1 Introduction	98
5.2.3 Research Approach	103
5.3 Results	105
5.3.1 Appearances Can Be Deceiving: Reading the Agricultural Landscapes Through the Dichotomous Lens of Policy Binaries	105

5.3.1.1 Collective surface irrigation system in the palm grove and individual tube-wells in the Tadjdid extension.....	105
5.3.1.2 Traditional oasis agriculture inside and modern agriculture outside.....	106
5.3.1.3 Social recognition inside the palm grove and economic logic outside.....	107
5.3.1.4 Local community-based adaptations inside and state-led globalized development outside.....	108
5.3.2 Opening the Black Box to Understand Hybrid Agricultural Landscapes: Entanglement and Complexity.....	109
5.3.2.1 Groundwater use.....	109
5.3.2.2 The economic and social logic of actors.....	111
5.3.3 Territorial continuity between the ancient palm grove and the new extensions.....	113
5.3.3.1 Actors are active in both landscapes.....	113
5.3.3.2 Actors rely increasingly on the same (ground)water resource	114
5.3.3.3 Patchwork landscapes: the extension of the deglet nour on the outskirts of the palm grove, diversified farming in the extensions.....	115
5.4 Discussion	116
5.4.1 New interpretation of agricultural realities in the Algerian Sahara	116
5.4.2 Local Initiatives by Oasis Communities Inspired by State Policies	117
5.5 Conclusion	118
6.1 D'un système irrigué communautaire traditionnel vers deux espaces irrigués hybrides et interconnectés	122
6.1.1 Les nouveaux espaces irrigués, la capacité de renouveau après l'effondrement du système d'épandage de crue	123
6.1.2 L'ancienne palmeraie, le renouveau d'un système irrigué communautaire ?.....	125
6.1.3 Continuité territoriale, les nouveaux espaces irrigués <i>creatio ex materia</i> des anciens.....	128
6.2 Quelles options pour atténuer les vulnérabilités dans les oasis	130
6.2.1 Vulnérabilités environnementales et écologiques.....	130
6.2.2 Vulnérabilités socio-économiques	132
6.3 La double portée scientifique du cadre d'analyse développé	134
6.3.1 Application du cadre d'analyse à la problématique de la réutilisation des eaux usées épurées	134
6.3.2 Application du cadre d'analyse dans des systèmes irrigués communautaires en mutations	135
Activités scientifiques.....	138
Références bibliographiques	142
Annexes	158
Abstract.....	197
Résumé.....	198

Liste des figures :

Figure 1. Présentation de la zone d'étude	10
Figure 2. Cadre d'analyse interdisciplinaire et multiscalaire.....	26
Figure 3. Cadre d'analyse spatiotemporelle du triptyque acteurs-institutions-infrastructures en intégrant la dimension des ressources en eau au centre.....	31
Figure 4. Organisation de la thèse.....	35
Figure 5. Reconfiguration du territoire oasien de Sidi Okba	40
Figure 6. Frise chronologique des processus de verrouillage – déverrouillage du foncier et des ressources en eau.....	42
Figure 7. Les ressources en eau mobilisées dans le territoire oasien de Sidi Okba.....	44
Figure 8. Waterscape of the Sidi Okba palm grove.....	53
Figure 9. Historical overview of the use of surface water and groundwater in the Sidi Okba irrigation system.....	56
Figure 10. Spate irrigation system in the Sidi Okba oasis in 1937.....	57
Figure 11. Dam irrigation system in 1957.....	59
Figure 12. Groundwater-based irrigation system from 1979 to 2015.....	61
Figure 13. Changes in the management of the different water resources.....	63
Figure 14. Changes in irrigation infrastructure according to water resources mobilized at different periods.....	65
Figure 15. Hydraulic changes made to the existing surface irrigation network	66
Figure 16. Shaping of the distribution rules for all water resources used.....	67
Figure 17. Cohabitation rules during and outside the periods of dam releases	69
Figure 18. The study area.....	80
Figure 19. Relationship between state interventions and the emergence of different groups of groundwater providers	82
Figure 20. The overlapping and juxtaposition of the command areas of the different groups of groundwater providers	85
Figure 21. The current distribution of groundwater in the Sidi Okba palm grove	91
Figure 22. The study area.....	102
Figure 23. Trajectory of the Sidi Okba oasis from 1950 to the present.....	105
Figure 24. Average farm income for five years (2009-2014) on 12 sample farms situated only in the palm grove, only in the Tadjdid extension and in both landscapes	107
Figure 25. Hybrid irrigation systems	109
Figure 26. Geographical distribution of actors	113
Figure 27. Process of intensification of the deglet nour palm trees variety.....	115

Liste des tableaux :

Tableau 1. Ancienne typologie des agrosystèmes oasiens reprise par Kouzmine (2012)	21
Tableau 2. Les mesures hydrométriques menées à différentes périodes sur les différentes ressources en eau de surface	28
Table 3. Characteristics and consequences of the conjunctive use of water resources	73
Table 4. Properties of groundwater irrigation.....	87
Table 5. Technical and economic indicators of groundwater irrigation (empirical data for 2014)	89
Table 6. Costs and gains of groundwater pumped (empirical data for 2014).....	89
Tableau 7. Characteristics of farms and farming systems in the two landscapes	106

Laboratoire où la thèse a été préparée :

CIRAD, UMR G-Eau ; 361, rue JF Breton 34398 Montpellier cedex 5, France

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

Chapitre 1

Introduction générale

Chapitre 1. Introduction générale

1.1 Introduction

Ces dernières années, mon travail de doctorat a occupé une place tellement importante, voire parfois envahissante, dans ma vie que je me permettrai dans cette introduction qui résume le comment et le pourquoi de cette recherche de parsemer mon discours scientifique de quelques remarques plus personnelles.

À la fin de l'année 2012, je m'apprêtais à me lancer dans une nouvelle aventure scientifique qu'était la thèse. Elle m'inspirait à la fois de l'enthousiasme et de la crainte, en particulier par rapport au choix du sujet et du terrain qui allaient être déterminants pour les années de recherche à venir. Après un Master spécialisé en Irrigation et Maîtrise de l'eau et un projet de fin d'étude sur la diffusion de la technique d'irrigation du goutte-à-goutte dans la plaine du Saïss au Maroc (Ameur et al., 2013), j'étais à la recherche de nouvelles expériences et connaissances sur des problématiques de recherches originales. La technique d'irrigation du goutte-à-goutte était trop sous les projecteurs à mon sens : plusieurs travaux de recherche en cours en sciences de l'ingénieur et en sciences sociales s'intéressaient déjà à cette problématique (Benouniche et al., 2014 ; Van Der Kooij, 2016 ; Venot et al., 2014). Mon directeur de thèse a entendu ce besoin de changement et de nouveauté. Il m'a alors proposé de m'orienter vers les oasis, qui peuvent pourtant être perçues comme des objets de recherche un peu poussiéreux, vu l'ancienneté de l'intérêt dont ils font l'objet. Or, dans le cadre du programme de recherche Groundwater ARENA dans lequel ma thèse s'inscrit, il était prévu d'analyser la manière dont les territoires oasiens évoluaient à la suite de l'irruption massive de l'eau souterraine peu renouvelable. Dans cet objectif, le programme avait identifié un site d'étude dans la région de Biskra en Algérie, qui était le théâtre d'un « étonnant renouveau » de l'agriculture saharienne selon les rares travaux de recherche le concernant (Côte, 2002 ; Dubost et Larbi-Youcef, 1998 ; Khiati, 2008).

Avant de me rendre sur le terrain, j'ai fait des recherches bibliographiques sur le Sahara algérien, l'agriculture saharienne, le développement rural des oasis et le rôle de l'eau souterraine dans le développement du Sahara. Ces quatre axes de recherches m'ont orientée vers des publications de référence qui abordent ces différentes questions depuis plus d'un demi-siècle. Plusieurs générations de géographes, d'hydrologues et d'agronomes - Robert Capot-Rey, Jean Bisson, son ancien doctorant Daniel Dubost, Marc Côte, Abed Bendjelid, Fatoum Lakhdari, Yael Kouzmine, Ali Bensaâd, Boualem Remini, Tahar Idder entre autres - se sont succédés pour analyser le développement et les mutations de ce vaste territoire en interaction avec ses communautés locales, son environnement, ses richesses souterraines et les volontés politiques. Par exemple, Jean Bisson a publié trois grands ouvrages qui ont rythmé la deuxième moitié du 20^{ème} siècle : « *Le Gourara, étude de géographie humaine* » en 1957, « *Développement et mutations du Sahara maghrébin* » en 1993 et « *Mythes et réalités d'un désert convoité, le Sahara* » en 2003. Ces écrits ont mis en avant les eaux souterraines avant comme facteur majeur expliquant les transformations agricoles, socio-économiques et territoriales des dernières décennies.

Après cette phase de familiarisation avec le Sahara algérien par l'intermédiaire de la bibliographie, il était temps d'aller physiquement à la rencontre de ce vaste territoire.

1.1.1 Rencontre avec Marc Côte, un des pères de la géographie saharienne

L'année 2013 a débuté par de nouvelles perspectives scientifiques. Dès mes premiers jours sur le terrain, j'ai entendu dire que Marc Côte et son épouse Anne étaient de passage à Biskra. Je suis allée à leur rencontre dans l'hôtel où ils étaient hébergés. Je me suis présentée à la réception de l'hôtel et j'ai demandé au réceptionniste s'il pouvait les informer de ma présence. Quelques minutes après, ils sont venus à ma rencontre. Je n'oublierai jamais ce premier contact avec cet adorable couple. Malgré l'heure un peu tardive, ils m'ont accueillie avec un grand sourire et des cartes à la main. Après une rapide présentation de mon cursus d'ingénieur en Génie Rural et du projet de recherche Groundwater ARENA, je leur ai confié mes attentes quant à cette première mission de terrain exploratoire. Mon objectif était de trouver une zone d'étude assez originale qui me permettrait d'analyser les transformations relatives à l'irruption de technologies modernes d'exploitation des eaux souterraines peu renouvelables. Marc Côte m'avait alors dit « *je suis heureux de voir que le Sahara attire toujours des doctorants et qu'il y aura une relève après nous* » et, juste après, « *j'ai une zone d'étude pour toi... elle est en adéquation avec ton profil d'ingénieur en génie rural... on partira demain à sa rencontre* ». Il m'avait également expliqué sur une carte que la partie Est de Biskra appelée localement « Zab El Chargui » était moins étudiée que la partie Ouest « Zab El Gharbi ». Il avait insisté sur le fait qu'il fallait rétablir un équilibre scientifique, d'autant plus que le Zab Chargui renfermait des dynamiques agricoles et sociétales complètement différentes de celles du Zab El Gharbi.

1.1.2 Rencontre avec le territoire oasien de Sidi Okba : entre complexité et paradoxes

À notre arrivée sur le terrain, nous nous sommes arrêtés à l'entrée de la palmeraie de Sidi Okba. Marc Côte commençait à expliquer les contrastes du territoire oasien de Sidi Okba : plusieurs ressources en eau mobilisées, coexistence de deux formes d'agriculture contrastées, etc. Sur une carte, il expliquait qu'au Nord, à 10 km du lieu où nous nous trouvions, se situait le barrage de Foum El Gherza construit entre 1947 et 1950. L'eau de ce barrage était destinée à irriguer quatre palmeraies qui se situent à son aval : Gharta, Seriana, T'Houda et Sidi Okba (figure 1).

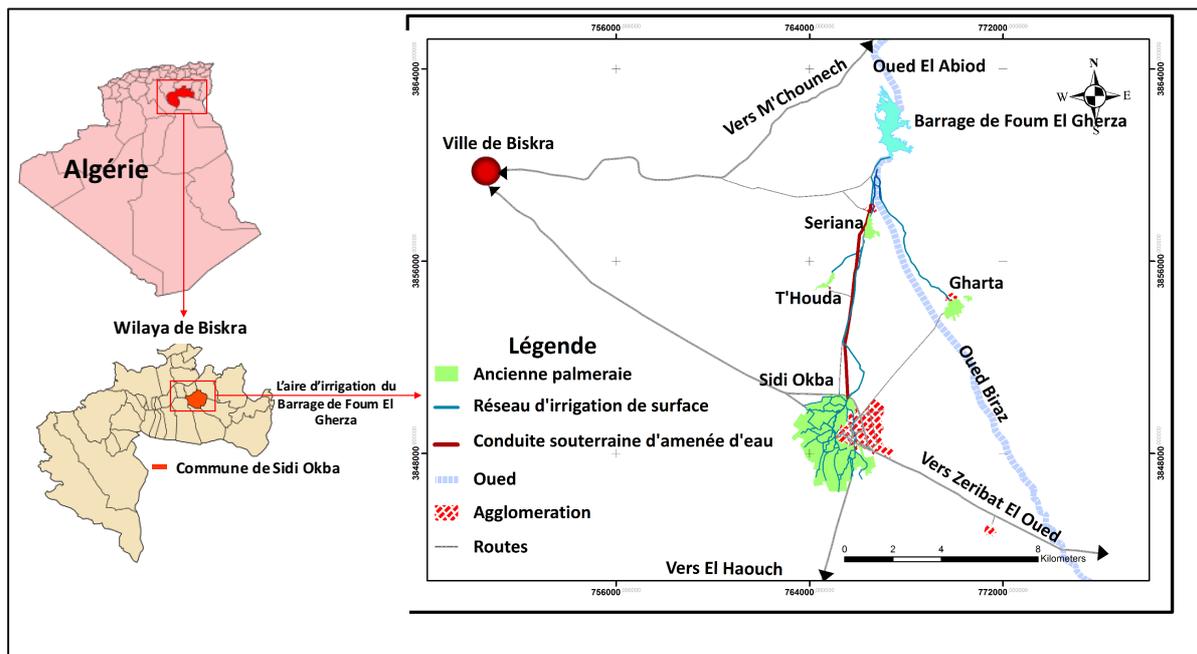


Figure 1. Présentation de la zone d'étude

La palmeraie de Sidi Okba est la plus vaste par sa superficie et par le nombre de palmiers. Les droits d'eau ayant été définis de manière proportionnelle, la palmeraie de Sidi Okba recevait donc la plus grande part des lâchers d'eau du barrage (80 % du volume régularisé). Marc Côte souligne alors que « *c'est la raison pour laquelle je t'ai amenée ici à Sidi Okba et non pas dans l'une des trois autres palmeraies* ». À un certain moment de cette visite, Marc Côte m'avait demandé de me tourner vers la palmeraie et de lui donner mes premières impressions. Mon premier mot pour qualifier ce que je voyais fut : « anarchique ». Je voyais en effet des palmiers morts, d'autres plantés en touffes, des canaux d'irrigation de surface obstrués par des herbes aquatiques, des pierres et des sachets de plastique qui servaient à ouvrir et fermer les répartiteurs. Marc Côte m'a alors répliqué non sans une pointe d'ironie/d'humour : « *bienvenue dans un système irrigué traditionnel... À première vue, ce système apparaît anarchique, mais en réalité il est très organisé... tu le découvriras au fur et à mesure de tes missions* ». En discutant, nous nous sommes enfoncés dans la palmeraie. À un moment donné, j'ai remarqué un forage dont l'eau souterraine pompée était injectée dans un canal d'irrigation secondaire dans lequel une deuxième eau circulait déjà. Je lui ai demandé d'où venait la deuxième ressource en eau. Il avait répondu « *soit c'est l'eau des fuites du barrage soit c'est l'eau d'un autre forage* ». De profil Génie Rural, ma réaction a été la suivante : « *le barrage connaît des problèmes d'étanchéité ! Est-ce que la structure de la digue n'est pas en danger ?* » Marc Côte m'avait alors expliqué que le barrage fuyait depuis sa mise en eau en 1951 et que ces fuites d'eau ne déstabilisaient pas les structures fondatrices de l'ouvrage. Il avait ajouté que « *les communautés d'irrigants des quatre palmeraies mobilisent les fuites d'eau du barrage — depuis leur apparition — pour irriguer les palmiers et les cultures associées... Il est intéressant de voir comment cette ressource en eau est partagée entre les quatre palmeraies et comment elle est distribuée entre les irrigants à l'intérieur de Sidi Okba... Il est également important de voir comment les différentes ressources en eau de surface et souterraine cohabitent dans un même espace irrigué... je ne t'en dis pas plus, je te laisse t'approprier ce terrain à travers ta recherche* ». Il avait rajouté par la suite que les différentes ressources en eau mobilisées dans la

palmeraie (eaux de lâchers, eaux des fuites du barrage et eaux souterraines) étaient gérées par la communauté d'irrigants de Sidi Okba. Pourtant, durant mes deux années de spécialité en Génie Rural à l'École Nationale Supérieure d'Agronomie (ENSA d'Alger, 2009-2011), on m'avait enseigné que tous les lâchers d'eau de barrages à des fins d'irrigation étaient gérés par l'Office National d'Irrigation et de Drainage (ONID). Le barrage de Foum El Gherza représentait donc une exception. J'ai commencé à comprendre à ce moment-là que la palmeraie de Sidi Okba avait une longue histoire socio-hydraulique en interaction avec sa communauté d'irrigants et avec l'État. Cette déduction préliminaire a été confirmée par Marc Côte lorsqu'il a évoqué les modes d'accès à l'eau existant dans la palmeraie de Sidi Okba : les eaux de lâchers du barrage sont allouées à travers des droits d'eau établis au moment de la construction du barrage en 1950, tandis que les eaux de fuites du barrage et les eaux souterraines sont allouées à travers des marchés de service d'eau.

Après cette première approche de l'ancienne palmeraie de Sidi Okba, nous nous sommes dirigés vers sa périphérie. De la route nationale N83 qui relie Biskra à Zeribat El Oued, on voyait des exploitations plus modernes aux productions diversifiées : palmiers dattiers, arbres fruitiers, céréales, légumineuses, ainsi que maraîchage de plein champ et sous serres. Marc Côte avait alors dit : « *je te présente ce que j'ai appelé "l'étonnant renouveau de l'agriculture saharienne" dans mon article de 2002* ». Il m'avait également expliqué que c'était l'accès privé à l'eau souterraine qui avait permis l'émergence de ces extensions agricoles en lisière des anciennes palmeraies. Après notre discussion sur ce que l'on avait sous les yeux, Marc Côte a pris une carte ancienne datant de la période de colonisation pour expliquer l'histoire de la mise en valeur agricole de ces terres : avant la construction du barrage, ces terres étaient emblavées collectivement par la communauté oasienne de Sidi Okba et bénéficiaient d'une irrigation réalisée collectivement par épandage de crue. Au cours de notre discussion sur cet ancien système irrigué communautaire, Marc Côte avait insisté sur le fait que je devais impérativement analyser, d'une part, la transition d'un système irrigué communautaire vers un système plus moderne basée sur l'accès privé à l'eau souterraine et, d'autre part, les continuités et les ruptures dans l'agriculture oasienne traditionnelle et l'agriculture de marché pratiquée dans les extensions.

1.1.3 Construire un dialogue avec la littérature

La rencontre avec Marc Côte et, en même temps, la découverte du territoire oasien de Sidi Okba a profondément influencé le cheminement de cette thèse. Marc Côte a su éveiller ma curiosité vis-à-vis de ce territoire oasien. Il m'a exposé la complexité et les paradoxes du territoire de Sidi Okba à travers des mots clés et des pistes de recherche sans pour autant m'en livrer les détails. Ainsi, il m'a incitée à creuser, à proposer ma propre problématique de thèse et à tirer des conclusions de manière autonome.

En m'appuyant sur ces échanges avec Marc Côte, j'ai constaté que la complexité du territoire oasien de Sidi Okba résidait dans l'existence d'oppositions apparentes notamment entre système irrigué communautaire et irrigation privée, entre eaux de surface et eaux souterraines, entre palmeraie ancienne et nouvelles extensions, entre État et communauté, entre agriculture « traditionnelle » et agriculture « moderne » orientée vers le marché. À partir de là, il fallait revenir à la littérature scientifique pour proposer une problématique de thèse originale.

En irrigation, le terme communauté se réfère à un groupe d'irrigants qui exploitent une ressource en eau commune, et dont l'eau est répartie entre eux, tandis que, le terme système désigne « *toute organisation ou arrangement au-dessus de la communauté pour gérer et allouer l'eau* » (Chambers, 1980). D'une manière générale, les systèmes irrigués communautaires sont des périmètres construits par les irrigants, qui gèrent collectivement l'allocation et la distribution de l'eau (Coward, 1980a). La particularité de ces systèmes est que leurs irrigants sont entièrement responsables de leurs maintenance, exploitation et gestion (Coward, 1980b). Toutefois, cette indépendance n'implique pas une absence de l'État du système (*ibid.*). Les irrigants ou la structure de gestion à l'échelle communautaire, peuvent solliciter une assistance et une aide de l'extérieur soit de l'État ou bien des bailleurs de fonds pour réhabiliter le réseau d'irrigation, améliorer leur performance et utilisation, introduire de nouvelles technologies d'irrigation ou bien dans certains cas pour régler un conflit sur l'eau (Coward, 1980b ; Lam, 1998). En même temps, l'État peut également prendre l'initiative d'intervenir sur de tels systèmes (Bouderbala et al., 1984).

L'axe principal de mes lectures s'est orienté vers les débats scientifiques internationaux sur le devenir des systèmes irrigués communautaires face aux changements globaux du 21^{ème} siècle. Ceux-ci incluent, entre autres, la croissance démographique, l'accès généralisé à de nouvelles technologies de pompage et l'intervention de l'État dans différents domaines. Ces changements ont été mis en exergue, par exemple, dans les travaux de Mosse (1999) en Inde, mais ils sont observés dans de nombreuses régions du monde. Ils affectent les ressources naturelles et les moyens de subsistance des populations, mais aussi les capacités d'organisation des communautés d'irrigants.

Deux discours antagonistes animent depuis quatre décennies les débats sur le devenir des systèmes irrigués communautaires de par le monde. D'un côté, un discours optimiste met l'accent sur la capacité d'adaptation institutionnelle, de renouvellement et d'innovation des communautés d'irrigants pour surmonter la variabilité climatique (la sécheresse, par exemple) et les conflits sociaux (Bisson, 1992 ; Fernald et al., 2015). Les recherches qui alimentent ce discours s'intéressent généralement à ces systèmes « traditionnels » pour en montrer la vivacité. D'un autre côté, un discours pessimiste a émergé pour dénoncer la marginalisation, la dégradation et la destruction de systèmes irrigués communautaires à la suite du développement rapide de nouveaux modèles territoriaux, productifs, sociaux, politiques et économiques fondés sur l'accès à l'eau souterraine pompée (Ayeb, 2012 ; Bisson, 1990 ; Dubost et Moguedet, 1998 ; Kassah, 1998 ; Pérez et al., 2011). De nombreux signes de déclin à la fois dans les infrastructures d'irrigation et dans les institutions ont été pointés du doigt par différentes études, soulignant les vulnérabilités de ces systèmes, par exemple autour des *tanks* dans le Sud de l'Inde (Mosse, 1999), autour des *foggaras* du Maghreb (Dubost et Moguedet, 1998) et autour des sources d'eau et oueds dans le bassin méditerranéen (Ayeb, 2012 ; Pérez et al., 2011).

Ces deux orientations de recherche étaient intéressantes pour ma recherche, à condition toutefois que je ne me cantonnais pas à l'un ou à l'autre. Mon objectif était en effet de décrire et analyser la transformation des systèmes irrigués communautaires à l'ère de la modernisation et de la mondialisation économique sans m'enfermer dans un discours a priori positif ou négatif. Les systèmes hydrauliques oasiens sont alors de bons contextes d'étude. L'apparition de technologies modernes d'exploitation des eaux souterraines peu renouvelables, le forage et la

pompe immergée, dans le Sahara a provoqué depuis plus de trois décennies des transformations socio-économiques, socio-hydrauliques et socio-spatiales considérables. Ce que Marc Côte (2002) appelle le renouveau de l'agriculture saharienne. Cependant, ces transformations ont aussi incité les communautés oasiennes d'irrigants à adapter leurs systèmes irrigués anciens, qui représentent une forme de matérialisation d'une identité sociale (Aubriot, 2004), une fierté d'appartenance et un patrimoine socio-culturel, tout en explorant de nouvelles formes d'agriculture. Le pari de porter un nouveau regard sur les systèmes irrigués communautaires en y intégrant les nouveaux espaces irrigués trouve un écho dans des travaux en cours à l'échelle internationale sur les systèmes irrigués communautaires en mutation, par exemple en Espagne (Ortega-Reig, 2015 ; Sese-Minguez et al., 2017) ou au Maroc (Van Der Kooij, 2016). Ces travaux mettent en lumière des ruptures, mais aussi des continuités dans le fonctionnement de ces systèmes à l'époque contemporaine.

1.2 Les systèmes irrigués communautaires, d'un « modèle de façonnage des institutions » à une mise en difficulté de ces systèmes

Dans les années 1960 à 1980, les systèmes irrigués communautaires ont fait l'objet de nombreux travaux de recherche. On peut noter par exemple les travaux fondateurs de Leach (1959) au Sri Lanka (Ceylon), de Geertz (1963) en Indonésie, de Glick (1970) en Espagne. Ces chercheurs étaient fascinés par la pérennité des systèmes irrigués qu'ils observeraient et par la capacité des irrigants à développer localement une gestion sophistiquée d'infrastructures simples sans intervention ou contrôle étatique, alors que les périmètres irrigués modernes connaissaient des difficultés opérationnelles considérables (Coward, 1980b). Suite à cela, les systèmes irrigués communautaires datant de plusieurs siècles tels que les *subaks* à Bali, *zanjeras* aux Philippines, *kulos* au Népal, *huertas* en Espagne et *quanats* appelés communément *karezes*, *foggaras* ou *khattaras* dans la région du MENA, ont été compris comme des laboratoires de recherche à ciel ouvert (Meinzen-Dick, 1997). Des recherches ont été menées sur ces différents systèmes dans le but de formuler des principes d'organisation sociale autour de l'eau. L'idée était de produire des principes applicables aux périmètres étatiques, en particulier par la création d'associations d'usagers de l'eau agricole dans le cadre des politiques de gestion participative de l'irrigation (Coward, 1979 ; Lam, 1998 ; Mabry, 1996 ; Ostrom, 1993 ; Trawick, 2001). De nombreuses études ont illustré la capacité des communautés d'irrigants à l'autogestion des biens communs que Ostrom (1990) définit comme « *un système de ressources suffisamment important pour qu'il soit coûteux (mais pas impossible) d'exclure ses bénéficiaires potentiels de l'accès aux bénéfices liés à son utilisation* ». Le point culminant de ce type de travaux est l'identification par Ostrom (1990) des huit principes de conception d'un système irrigué communautaire. Les paradigmes internationaux de la gestion participative de l'irrigation et celui du transfert de la gestion de l'irrigation, qui concernent surtout la grande hydraulique, sont ainsi en grande partie basés sur l'analyse du fonctionnement des systèmes irrigués communautaires (Kuper, 2011).

Dans un premier temps, donc, les systèmes irrigués communautaires ont été considérés comme un modèle de gestion institutionnelle basée sur l'action collective pour inspirer les systèmes irrigués étatiques (Coward, 1980b). Dans un deuxième temps, ce sont les capacités de ces systèmes irrigués à surmonter les changements globaux du 21^{ème} siècle qui ont été remises en

cause. Ces changements sont induits principalement par la mondialisation économique, la compétition accrue pour les ressources en eau, en particulier les puits et forages individuels, le développement rapide d'une agriculture intensive en lisière des systèmes irrigués communautaires, et le désintéressement des nouvelles générations pour ces systèmes et l'agriculture qui y est associée. Ce nouveau contexte a impulsé à son tour des recherches sur l'adaptabilité et la vulnérabilité de ces systèmes irrigués communautaires (e.g. Cifdaloz et al., 2010 ; Cox et Ross, 2011 ; Fernald et al., 2015 ; Pérez et al., 2011 ; Young et al., 2010). L'adaptabilité est définie comme « *la capacité des acteurs d'un système à influencer sur la résilience* » (Walker et al., 2004). La résilience est définie à son tour comme « *la capacité d'un système à absorber les perturbations et à se réorganiser tout en subissant le changement afin de conserver essentiellement la même fonction, structure, identité et rétroaction* » (*ibid.*). Cependant, l'échec dans la tentative d'adaptation à une perturbation donnée rend le système irrigué communautaire vulnérable et peut entraîner l'effondrement de l'ensemble de l'agrosystème dont dépend la communauté d'irrigants, avec comme conséquence la perte des connaissances locales écologiques, de la culture locale et du patrimoine historique, social et culturel (Pérez et al., 2011). Toutefois, la menace d'un potentiel effondrement des systèmes irrigués communautaires anciens peut aider les communautés d'irrigants à le contrecarrer en transformant ces systèmes à travers de nouvelles opportunités et changements (*ibid.*). Dans les parties qui vont suivre, nous allons interroger successivement les adaptations, les vulnérabilités et les transformations des systèmes irrigués communautaires.

1.2.1 La capacité d'adaptation intrinsèque des systèmes irrigués communautaires : institutions et infrastructures d'irrigation

Le fonctionnement des systèmes irrigués autogérés repose sur des arrangements institutionnels dont le rôle est d'assurer la gestion, la distribution, le partage, l'usage et la durabilité d'un bien commun (Ostrom, 1992). Ces institutions sont rattachées au capital social et sont façonnées pour organiser les comportements sociaux (Ostrom, 1990). Les institutions d'irrigation constituent alors « *un ensemble de règles effectives de distribution et d'utilisation de l'eau, dans un endroit donné* » (Ostrom, 1992). Ces règles permettent de déterminer qui peut prendre de décisions et sur quelles questions, quelle action est autorisée ou interdite, quelles procédures suivre et respecter, quelles sanctions pour quelles infractions, quelles informations doivent ou non être fournies, quels sont les coûts des activités pour les individus, et quelles prestations, quels avantages ils reçoivent en échanges (*ibid.*). Les arrangements institutionnels articulent dans la pratique des règles formelles, une organisation sanctionnée par les autorités, mais également des règles implicites qui s'observent à travers les activités d'irrigation (Cleaver, 2012). De ce fait, dans des systèmes vieux de plusieurs siècles, les institutions sont la composante la plus importante pour opérer des adaptations (Janssen et al., 2007). Ostrom (1992) souligne que ces institutions doivent avoir un « *caractère artisanal* » puisqu'elles doivent s'adapter continuellement à la variabilité des contextes économiques, politiques, environnementaux et sociaux. Elles sont influencées par la vie sociale quotidienne tout autant que par leur élaboration historique, par l'interaction entre les arrangements formels et informels, traditionnels et modernes, et par l'ensemble du contexte sociopolitique dans lequel ces institutions prennent place (Cleaver et De Koning, 2015). En d'autres termes, le façonnage des règles est un processus continu en fonction de l'évolution des contextes social, économique et

biophysique dans lequel le système irrigué se trouve (Janssen et al., 2007). Toutefois, comme l'a montré Riaux (2011) dans l'atlas marocain, ce processus continu n'est pas incompatible avec l'existence de certaines formes de stabilités inhérentes à la structure physique des réseaux d'irrigation et à la structure des groupes sociaux. Le corpus de règles est composé de règles « *structurantes* » qui assurent la stabilité des éléments structurants du système communautaire, et de règles « *adaptables* » concernant tous les éléments fluctuants du contexte (Riaux, 2006). Cela fait écho aux observations de Aubriot (2002) dans ses travaux sur les systèmes irrigués au Népal où l'adoption de nouvelles règles ne remet pas systématiquement en cause les anciennes. Hall (2008) a montré dans ses travaux sur les Hautes Terres Malgaches que les anciennes règles peuvent également constituer une forme de mémoire des droits anciens sans forcément continuer à organiser le système.

Les travaux pionniers sur les systèmes irrigués communautaires s'intéressaient beaucoup aux interactions entre la technique et le social. Coward (1980b) souligne ainsi l'importance de prendre en compte l'environnement physique et hydraulique dans le façonnage des institutions et les organisations sociales. La fascination pour les capacités de façonnage des institutions dans les périmètres irrigués communautaires a quelque peu diminué l'attention accordée à cette dimension physique/hydraulique. Pourtant, les arrangements institutionnels sont influencés par les propriétés physiques des ressources en eau (débit, volume, saison d'écoulement ; Schlager et al., 1994). Dans ce sens, Van der Kooij et al. (2015) ont également montré dans leurs travaux sur le système irrigué communautaire de Khrichef au Maroc que l'évolution des règles est induite souvent par des adaptations dans l'infrastructure d'irrigation, qui par leur matérialité témoignent des changements intervenus tant sur le plan institutionnel que dans le contexte biophysique, y compris sur le long terme. L'infrastructure d'irrigation est donc une dimension très importante à prendre en compte dans l'étude des systèmes irrigués communautaires.

1.2.2 Les vulnérabilités des systèmes irrigués communautaires face à la « modernité »

Un certain nombre d'études sur les systèmes irrigués communautaires (par exemple le périmètre de Pampa au Népal ; Cifdaloz et al., 2010) montrent que ces systèmes sont certes suffisamment robustes pour s'adapter aux problèmes biophysiques et sociaux par le façonnage d'arrangements institutionnels, mais qu'ils peuvent se montrer vulnérables face à des changements rapides et profonds tels que les interventions étatiques et le développement de l'accès privé à l'eau souterraine. Contrairement aux eaux de surface dont l'appropriation est très clairement réglementée, l'eau souterraine est souvent présentée comme « *une 'copropriété' de fait non reconnue et sans règlement spontané* », accessible au grand nombre par une multitude de puits et forages souvent individuels (Margat, 2008). L'apparition de technologies modernes d'exploitation intensive des eaux souterraines a induit un développement rapide de l'agriculture irriguée au cours de ces quarante dernières années (Margat et Van der Gun, 2013). Ciriacy-Wantrup (1969) soulignait déjà que depuis l'émergence d'une agriculture basée sur le pompage des eaux souterraines, par exemple pendant la révolution verte en Inde, l'accent avait été mis sur les changements technologiques et la productivité agricole aux dépens des institutions (telles que définies plus haut) pour réguler l'accès et l'utilisation de cette ressource naturelle. Ce n'est qu'ultérieurement quand on a constaté que les niveaux piézométriques

baissaient et que les difficultés de certaines catégories d'agriculteurs d'accéder à l'eau souterraine apparaissaient que l'on est revenu sur la nécessité de façonner des institutions pour la « bonne » gouvernance des eaux souterraines. Or, dans la littérature, beaucoup d'auteurs décrivent un déclin continu des aquifères exploités sans que les acteurs n'arrivent à en réguler la cadence (Shah, 2009).

Dans un tel contexte d'accès privé à l'eau souterraine, les systèmes irrigués communautaires sont mis en danger à la fois parce que la baisse des niveaux piézométriques peut les priver d'eau dans certains cas et en parallèle parce que certains irrigants se tournent de plus en plus vers l'extérieur de ces systèmes. Un discours pessimiste a donc émergé montrant les vulnérabilités socio-économiques, écologiques et environnementales des systèmes irrigués communautaires face à l'exploitation des eaux souterraines pompées. Dans un contexte d'une « révolution silencieuse » de l'utilisation intensive de l'eau souterraine (Fornés et al., 2005), ce discours pessimiste va jusqu'à prédire l'effondrement des systèmes irrigués anciens (Pérez et al., 2011). Dans des régions arides à semi-arides, comme le pourtour méditerranéen, l'envie de développer une agriculture de marché couplé à la variabilité de la disponibilité des eaux de surface, a rendu l'agriculture irriguée tributaire des eaux souterraines qui sont mobilisées par des milliers de puits et forages privés (Leduc et al., 2017). Dans les pays du Maghreb, l'engouement pour cette ressource en eau a été soutenu par le développement de technologies de pompage sophistiquées et modernes promu et accompagné, le plus souvent, par des politiques publiques dans le but d'atteindre la sécurité alimentaire de ces pays (Kuper et al., 2016).

Face à une agriculture de marché orientée vers la mondialisation économique, plusieurs chercheurs tirent la sonnette d'alarme sur l'utilisation intensive de l'eau souterraine en agriculture qui entraînerait selon eux de graves problèmes à moyen et à long terme (Llamas, 2003 ; Llamas et Martínez-Santos, 2005 ; Margat et Van der Gun, 2013 ; Sophocleous, 2002). D'après Petit et al. (2017) plusieurs indicateurs signalent d'ores et déjà le risque d'un éventuel effondrement social, économique et écologique des écosystèmes tributaires des eaux souterraines. Au-delà des risques inhérents à ces nouvelles formes d'agriculture basées sur les eaux souterraines, l'accès individuel à l'eau pompée met aussi en péril les systèmes irrigués collectifs, étatiques et communautaires. En Inde par exemple, la prolifération des ouvrages de pompage privés est « *accusée d'avoir perturbé la gestion collective des tanks* » (Aubriot, 2006a). Schlager (2007) explique cela par le fait qu'une fois qu'un agriculteur obtient un accès privé à l'eau souterraine, il se retire de l'organisation sociale et arrête de contribuer aux tâches collectives telles que l'entretien du réseau d'irrigation. En d'autres termes, avec l'accès à l'eau souterraine, les agriculteurs n'auraient plus besoin de se soumettre à l'intérêt collectif pour satisfaire leurs intérêts individuels. Balasubramanian et Selvaraj (2003) ont montré que l'accès privé à l'eau souterraine en Inde a permis à une grande partie des irrigants, notamment ceux de caste supérieure, de s'affranchir des travaux d'entretien de l'infrastructure d'irrigation et donc de se désintéresser des institutions d'irrigation traditionnelle. Ceci a accentué davantage les relations de pouvoirs et les inégalités existantes d'accès à l'eau entre castes (Aubriot, 2006a). Par exemple, « *seuls les propriétaires les plus aisés ont pu investir dans des pompes, utilisant dorénavant leur possibilité d'accéder à l'eau souterraine pour la vendre aux plus pauvres et ainsi maintenir leur pouvoir local* » (Aubriot, 2006b). À l'opposé, d'autres agriculteurs n'ont pas suffisamment de moyens financiers pour creuser des puits et/ou pour les approfondir à la

suite du rabattement continu des nappes. Un autre type d'effondrement socio-économique et environnemental est susceptible de se produire dans les systèmes irrigués communautaires qui dépendent depuis leur création de la ressource en eau souterraine. L'exemple le plus frappant est celui des communautés d'irrigants qui exploitaient depuis des siècles l'eau souterraine sans pompage soit naturellement (sources d'eau par exemple) ou bien par l'ingéniosité de l'homme (foggaras au Maghreb). Le développement de nouvelles terres agricoles à partir de la même ressource en eau que celle mobilisée auparavant par les communautés d'irrigants en présence a créé une concurrence sur la ressource en eau (Agrawal, 2001). Ainsi, par exemple, au Sud Est de l'Espagne, les communautés irriguant traditionnellement à partir de sources ont été concurrencées par de nouveaux usagers d'eau qui pompent les eaux de la nappe phréatique pour une agriculture intensive (Pérez et al., 2011). Face à cette perturbation majeure, les communautés d'irrigants ont tenté de s'adapter à cette intrusion et ont intensifié elles aussi l'exploitation de l'eau souterraine par des puits. De ce fait, les irrigants ont aggravé leurs problèmes (surexploitation de la ressource en eau commune et tarissement des sources) rendant leurs systèmes plus vulnérables à long terme (*ibid.*). Des cas similaires ont été observés dans le Sahara maghrébin. La nouvelle donne technologique de captage de l'eau souterraine - les forages - menace la pérennité des foggaras qui sont des dispositifs hydrauliques permettant d'exploiter la nappe sans pompage (e.g. Dubost et Moguedet (1998) en Algérie ; Kassah (1998) en Tunisie ; Lightfoot (1996) au Maroc). Certains membres de ces communautés oasiennes ont saisi cette modernité technologique pour développer une agriculture de marché basée sur l'accès à l'eau souterraine privée en lisière des anciens systèmes oasiens à foggaras (Bisson, 2003).

Dans le Sahara algérien, ces transformations socio-spatiales, socio-hydrauliques et socio-économiques ont été favorisées par la libération de l'accès à la propriété foncière et aux ressources en eau souterraine par pompage, au début des années 1980. Parfois, les anciens métayers (*khammès*) ont saisi cette opportunité économique pour s'affranchir de la hiérarchie sociale au sein des oasis tout en améliorant leur statut social. Il s'agissait parfois des émigrés de retour avec une certaine capacité d'investissement. Dans d'autres cas, de nouveaux périmètres agricoles ont été mis en place par l'État.

1.2.3 Renouveau des systèmes irrigués communautaires

Au cours de mes premiers mois de thèse, une citation d'Ostrom (1992) m'avait interpellée : « *le fonctionnement des systèmes irrigués en gestion paysanne, dont certains ont plusieurs siècles d'existence, montre que, alors même que les infrastructures physiques paraissent rudimentaires aux yeux des ingénieurs du génie rural, les systèmes de gestion sont extraordinairement sophistiqués et performants* ». Cette phrase faisait écho à des préjugés courants sur les systèmes irrigués communautaires qualifiés d'anarchiques, archaïques, non-efficacés et non-rentables. Pour m'en distancier et pour mieux m'approprier cette citation d'Ostrom, j'ai participé en 2014 à une conférence internationale à Valence en Espagne sur l'évolution historique des systèmes irrigués communautaires. La conférence s'intitulait « *Irrigation, Society and Landscape* » en hommage à Thomas Glick, historien médiéviste focalisé sur la technologie hydraulique dans le monde musulman. La conférence incluait donc les aspects techniques, agronomiques, sociaux et institutionnels, ainsi que les questions relatives à la recomposition des espaces occupés et/ou définis par ces systèmes irrigués. L'irrigation traditionnelle valencienne était au centre des débats sur la transformation des systèmes irrigués communautaires. Les systèmes de Valence

sont parmi les plus connus au monde, à l'instar du système irrigué millénaire de la *huerta de Valencia*, et avaient même inspiré durant le 19^{ème} siècle les colonisateurs britanniques et français pour dupliquer certains aspects de la gestion de l'irrigation et de l'organisation sociale dans des pays comme l'Inde et l'Algérie (Brunhes, 1902 ; Garrido, 2014). La transformation des systèmes irrigués communautaires a été abordée dans ce séminaire autour de quatre axes : l'urbanisation, la modernisation, les stratégies visant à renforcer la viabilité socio-économique et la préservation de ces systèmes naturels et culturels (Sanchis-Ibor et al., 2014). Après deux jours de remise à niveau sur les systèmes irrigués communautaires à travers des présentations et débats, nous sommes partis à la rencontre de *la huerta de Valencia* à vélo sur un circuit touristique de plus de 20 km. Au cours de notre expédition, ce qui m'a le plus frappée et surprise était la circulation des eaux usées épurées dans l'un des plus anciens et renommés systèmes irrigués communautaires au monde. Derrière l'image des vergers d'agrumes paradisiaques se cachait une eau usée recyclée. Paradoxalement, cette ressource en eau se fond dans le décor du paysage agricole et du système irrigué. Ni la vue ni l'odorat ne signalent la circulation d'une eau fréquemment considérée comme répugnante dans le réseau d'irrigation de surface existant qui naît de la rivière de Turia. Sur notre circuit, nous avons également rencontré un forage à usage collectif, géré par une association d'usagers, dont l'eau pompée était injectée dans un canal d'irrigation secondaire. Nous avons également aperçu des systèmes d'irrigation au goutte à goutte dans les vergers. Ces différentes découvertes, inattendues parce qu'elles s'opposaient dans mon imaginaire d'ingénieur à la traditionnalité inhérente aux systèmes communautaires, m'avaient interpellée quant à l'ampleur des transformations de la *huerta de Valencia*. Ma participation à cet événement scientifique et la découverte de la face cachée de la « nouvelle » *huerta de Valencia* m'ont incitée à décaler mon regard sur l'opposition supposée entre tradition et modernité pour comprendre les systèmes irrigués communautaires dans leurs formes plus complexes et hybrides. Ma participation à la conférence m'a également amenée à interroger les deux discours pessimiste et optimiste omniprésents dans la littérature. D'un côté, le regard décliniste sur les systèmes irrigués communautaires ne rend pas justice aux efforts des communautés pour continuer à pratiquer l'agriculture et l'irrigation, souvent dans des contextes très difficiles. De l'autre côté, le regard optimiste sur les capacités d'adaptation des communautés d'irrigants peut sous-estimer les difficultés auxquelles elles sont confrontées. Une autre lecture plus nuancée des dynamiques est possible pour analyser les systèmes hydrauliques anciens sans oblitérer ni leurs continuités ni les ruptures qu'ils traversent, y compris quand cela concerne la juxtaposition de systèmes « traditionnels » et « modernes ». Dans cette thèse, je propose donc de repenser le renouveau des systèmes irrigués communautaires dans toutes leurs formes de transformations et de complexité, en reconnaissant leur hybridité. Pour cela, il faut décentrer le regard - dans le temps et dans l'espace - pour intégrer dans l'analyse, de nouvelles formes d'agriculture en lisière des systèmes traditionnels, mais également de nouvelles technologies d'irrigation et/ou de nouvelles ressources en eau dans les anciens systèmes irrigués. Cela nécessite à la fois une compréhension historique des transformations du système hydraulique « traditionnel », et une analyse fine des systèmes hydrauliques « modernes », qui ont été mis en place en juxtaposition parfois par les mêmes populations.

Afin de confronter ma vision du renouveau des systèmes irrigués communautaires, qui se manifeste par des transformations socio-hydrauliques, territoriales, politiques et agricoles, à

celle des autres, deux cas d'études méditerranéennes ont attiré mon attention en Espagne et au Maroc. J'ai eu l'occasion de visiter ces sites en compagnie de deux doctorantes, Mar Ortega-Reig et Saskia van der Kooij, qui s'intéressaient aux transformations des systèmes irrigués communautaires en Espagne et au Maroc à travers l'intégration de nouvelles technologies d'irrigation (forages, goutte à goutte, etc.) et ressources en eau (eaux souterraines et/ou eaux usées épurées). En Espagne, il s'agissait du système irrigué de la *huerta de Valencia*, dont j'ai évoqué les transformations rapides ci-dessus : intégration des eaux usées et des eaux souterraines, et modernisation de l'irrigation par la reconversion vers le goutte à goutte. Face à la vague de sécheresses sévères qui a eu lieu entre 2005 et 2008, la multiplication de systèmes hydrauliques modernes, l'exploitation intensive des eaux souterraines et la concurrence autour des ressources en eau entre les systèmes hydrauliques anciens et modernes, les pouvoirs publics ont lancé à la fin des années 2000 un certain nombre d'initiatives politiques telles que le Plan d'urgence de la modernisation de l'irrigation (2006-2008) et le Plan National de réutilisation de l'eau (2009-2015) (Sese-Minguez et al., 2017). Ces deux plans avaient pour objectif de réduire l'utilisation de l'eau de surface dans les systèmes irrigués communautaires en diminuant les quotas d'eau des associations d'irrigants tout en renforçant leur compétitivité et leur efficacité économique à travers l'intégration de nouvelles ressources en eau (eaux souterraines et eaux usées épurées) et la reconversion de l'irrigation vers le goutte à goutte (Garrido et Llamas, 2009 ; López-Gunn et al., 2012). La thèse de Mar Ortega-Reig (2015) analyse comment et pourquoi les agriculteurs de la *huerta de Valencia* ont accueilli ces deux initiatives politiques et ce que ces derniers ont impulsé comme changements institutionnels et matériels au sein du système irrigué. Le système irrigué communautaire de la *huerta de Valencia* représente un exemple concret de la transformation d'un système traditionnel vers un système complexe et hybride qui comporte à la fois du traditionnel et du moderne, du social et de l'économique, du local et du global, de l'État et de la communauté, etc. Quelques similitudes ont été observées sur le terrain marocain de Saskia van der Kooij (la séguia de Khrichfa dans le système irrigué d'Aïn Bittit). Le gouvernement marocain a lancé en 2007 un Plan National d'Économie d'Eau d'Irrigation (PNEEI) qui a été intégré en 2008 au Plan Maroc Vert (Belghiti, 2009). Le PNEEI a pour principal objectif de corriger les déficits d'eau agricole auxquels le pays est confronté à travers la reconversion de l'irrigation en goutte à goutte, y compris dans les systèmes irrigués communautaires (Kuper et al., 2009). Dans ce contexte, van der Kooij (2016) a consacré sa thèse à l'analyse du mariage insolite de l'irrigation au goutte à goutte au sein d'un système irrigué gravitaire communautaire. À travers son analyse de la séguia de Khrichfa, elle questionne la présence d'une technologie « moderne » promue pour pratiquer une agriculture « à haute valeur ajoutée » au sein d'un système irrigué « traditionnel » connu pour son agriculture diversifiée.

Ces travaux montrent la pertinence du couple tradition-modernité pour l'analyse des systèmes irrigués communautaires. Dans cette thèse, ce couple est intéressant pour analyser le possible renouveau de ces systèmes face à la modernité. Ainsi, j'ai proposé un cadre d'analyse intégré pour décrire et analyser le renouveau des systèmes hydrauliques anciens dans le temps et dans l'espace, sans oblitérer ni leurs continuités ni les ruptures de ces transformations, y compris quand cela concerne la juxtaposition de systèmes « traditionnels » et « modernes ».

1.3 L'eau et l'agriculture oasienne : l'eau raconte les transformations hydrauliques, territoriales et sociétales

Ce titre a été inspiré d'un extrait de l'ouvrage de Bensaâd (2011) intitulé « *L'eau et ses enjeux au Sahara* », dans lequel l'auteur explique que « *les sociétés confrontées à une aridité extrême ont tissé au cours des siècles des rapports si étroits à l'eau que celle-ci a profondément marquée leurs ancrages territoriaux et leurs structures sociales au point que les paysages hydrauliques restituent pleinement autant les territorialités que les sociétés qui les ont structurées et les mutations qui les secouent toutes deux* ». Dans cette partie, les systèmes hydrauliques oasiens sont d'abord présentés avant de passer en revue le développement de nouvelles formes d'agriculture en lisière de ces anciennes oasis.

1.3.1 Les oasis et leurs systèmes hydrauliques traditionnels

La création des oasis impliquait le développement d'une agriculture oasienne, qui a représenté pendant des siècles « *la seule source de création de richesses et de subsistances* » des oasiens (Kouzmine, 2012). Le terme oasis désigne l'assemblage du *ksar* (village fortifié) et de son terroir cultivé (Côte, 2005). La mise en place d'une agriculture, nécessairement irriguée dans un milieu aussi hostile que le Sahara, nécessitait la mobilisation d'une eau qui n'était pas forcément mise à disposition par le milieu (Bisson, 2003). À l'exception de l'eau des oueds descendus de l'Atlas Saharien et les sources d'eau et certains lacs (le lac Ubaru en Libye, par exemple) partout ailleurs dans le Sahara l'eau était enfouie dans le sous-sol (Bensaâd, 2011). Pour l'intérêt commun, les communautés oasiennes devaient « *prospector, extraire et acheminer l'eau en forçant le milieu* » (*ibid.*). En parallèle, ces communautés avaient su tirer profit du milieu, notamment en ce qui concerne le choix d'implantation des oasis, souvent à partir des noyaux de végétation naturelle. Selon Bisson (2003), historiquement, les oasis ont été créées dans des dépressions topographiques, dans le but de bénéficier : i) d'une irrigation par gravité ii) d'un accès facilité à l'eau de la nappe phréatique soit par des puits peu profonds, ou bien par une « excavation » permettant aux palmiers de puiser l'eau directement de la nappe, et iii) d'un drainage naturel du surplus de l'eau d'irrigation vers des *sebkhas* (exutoires naturels de l'eau dans le Sahara). De plus, les différentes formes de mobilisation ancestrale de l'eau dans le Sahara et sa distribution dans l'espace avaient façonné différentes structures agraires oasiennes. Kouzmine (2012) a mobilisé dans sa thèse d'anciens textes de Bernard Augustin sur l'Afrique septentrionale et occidentale datant de 1939, pour présenter la typologie des agrosystèmes oasiens existants en Algérie en fonction de la ressource en eau mobilisée (tableau 1).

Tableau 1. Ancienne typologie des agrosystèmes oasiens reprise par Kouzmine (2012)

Types de mobilisation de l'eau	Exemples d'oasis	Wilaya
Oueds descendants de l'Atlas saharien	Sidi Okba sur Oued Biraz Taghit sur Oued Saoura	Biskra Béchar
Sources au pied de montagnes	Hoggar	Tamanrasset
Source artésienne et puits peu profonds	Ziban Vallée de la Saoura Oued-Righ	Biskra Béchar Ouargla
Nappes phréatiques	Djanet <i>Ghouts</i> du Souf <i>Ghouts</i> du Taghouzi et <i>Bared</i>	Illizi El Oued Adrar
Foggaras	Taouat, Gourara et Tidikelt	Adrar

Certains systèmes hydrauliques ont attiré l'attention des chercheurs plus que d'autres, à l'instar des foggaras ou des ghouts du Souf (Bisson, 1957 ; Despois, 1958 ; Grandguillaume, 1973 ; Guillermou, 1993 ; Otmane et Kouzmine, 2013, pour ne citer qu'eux).

Ces systèmes reflétant l'ingéniosité hydraulique traditionnelle et dépendant des nappes souterraines sont les plus vulnérables vis-à-vis de l'irruption des pompages de l'eau souterraine autour d'eux (Côte, 2005). A contrario, les oasis exploitant antérieurement les eaux de crues des oueds descendant de la chaîne montagneuse de l'Atlas Saharien ont été peu étudiées jusqu'à présent. Les raisons de ce désintéressement résident peut-être dans le fait que : i) l'ancien système irrigué par épandage de crue a disparu avec la construction de barrages sur les principaux oueds (e.g. barrage de Foum El Gherza en 1950 à Biskra et celui de Djorf Torba en 1969 à Béchar), et ii) l'absence d'infrastructures d'irrigation pérennes qui permettraient de reconstituer l'histoire hydraulique. Ces anciens systèmes irrigués communautaires ont en effet connu une transformation radicale à travers la modernisation hydraulique, d'abord avec l'implantation des barrages - Côte (2002) parle de « verrouillage des cours d'eau » -, puis avec l'irruption des forages équipés en pompes immergées, que l'on appellera « déverrouillage » des nappes souterraines profondes, à partir des années 1980 (Hamamouche et al., 2015). Ces systèmes hydrauliques d'épandage de crue ont été étudiés dans différents contextes, par exemple en Bolivie (Zimmerer, 2011), en Éthiopie et en Érythrée (Mehari et al., 2005) au Maroc (Bouaziz et al., 2004), au Pakistan (Van Steenberg, 1997) en Tanzanie (Komakech et al., 2011) et au Yémen (Mehari et al., 2007) où ils continuent à fonctionner. La lecture du système irrigué contemporain de Sidi Okba a nécessité un retour en arrière pour comprendre ce système hydraulique ancien dont il restait un certain nombre d'éléments, en particulier dans les anciennes palmeraies.

Dans le Sahara algérien, la plupart des terres où se pratiquait collectivement la céréaliculture par épandage des eaux de crue ont été reconverties en irrigation privée à partir de l'eau souterraine profonde plus propice à l'intensification culturelle (Bisson, 1993). L'irruption de technologies modernes d'exploitation de l'eau souterraine des aquifères peu renouvelables dans ces territoires agricoles anciens a bouleversé les hiérarchies sociales et le développement territorial (Kouzmine, 2012). L'accès à l'eau souterraine a changé l'organisation hydraulique, sociétale et territoriale, ainsi que les pratiques et les cultures sociales de l'eau dans les anciennes

palmeraies (Bensaâd, 2011) et a favorisé l'émergence de nouveaux systèmes de production agricole autour des anciennes palmeraies (Côte, 2002).

1.3.2 Transformations en lisière des anciennes oasis : continuités ou ruptures ?

Le Sahara algérien connaît depuis la deuxième moitié du 20^{ème} siècle une transformation territoriale étonnante avec une urbanisation importante, un renouveau de l'agriculture saharienne et le développement de grandes infrastructures et de l'industrie pétrolière (Côte, 2002). La volonté politique de libéralisation du secteur agricole au début des années 1980, couplée aux initiatives privées déjà en cours, a débouché sur un processus de « déverrouillage » de l'accès à l'eau et à la terre, en dehors des palmeraies existantes, et a permis de redynamiser l'agriculture saharienne tout en contribuant à l'émancipation des populations oasiennes (Bisson, 2003). L'accès à ces deux facteurs de production (eau et terre) par des milliers d'agriculteurs et investisseurs a accéléré le processus de transformation socio-spatiale et socio-économique du Sahara en développant une agriculture irriguée sur de nouvelles frontières de l'eau (Côte, 2002). Autour des anciens îlots oasiens se sont greffés de nouvelles formes d'agriculture saharienne orientées vers le marché : phoeniculture commerciale, maraîchage sous serres et de plein champ, arbres fruitiers, céréales, légumineuses (Khiari, 2011). Actuellement, ces deux formes d'agriculture sahariennes cohabitent en Algérie, les anciennes palmeraies reposant sur une agriculture « traditionnelle » et leurs extensions étant orientées vers l'agriculture « moderne » de marché. Dans la littérature, le développement des nouvelles formes d'agriculture pratiquées en dehors des anciennes oasis est souvent considéré en rupture avec l'agriculture oasienne traditionnelle (Bensaâd, 2011). Pourtant, lors de notre rencontre, Marc Côte avait aussi évoqué les continuités. Dans un de ces articles, intitulé « *Permanence d'une paysannerie au Sahara algérien : l'exemple des confins du Grand Erg occidental* », Bisson (1990) a sous-entendu cette continuité territoriale entre les anciens et nouveaux espaces irrigués à travers la phrase suivante ; « *Et prodigieux engouement pour cette nouvelle agriculture témoigne de la vitalité de l'agriculture oasienne* ». Ainsi, cette controverse sur les continuités et ruptures entre les anciennes palmeraies et leurs extensions méritait d'être approfondie à partir de constats du terrain, mais aussi en référence à la littérature internationale, comme évoqué plus haut.

1.4 Objectifs et questions de recherche

L'objectif de cette thèse est de développer un cadre d'analyse pour lire et comprendre le renouveau des systèmes irrigués communautaires face aux changements globaux des quarante dernières années. Il permet d'étudier les continuités et les ruptures dans les transformations socio-hydrauliques, territoriales, politiques et agricoles que connaissent ces systèmes irrigués. La thèse prend comme point d'entrée l'irruption vers la fin du 20^{ème} siècle des technologies modernes d'exploitation des eaux souterraines peu renouvelables dans un ancien territoire oasien. En effet, cette irruption constitue un facteur de changement majeur pour ces territoires et est une manifestation des changements globaux décrits plus haut. Avant l'apparition des forages équipés de pompes immergées, l'eau constituait le facteur de production le plus contraignant dans un environnement aussi hostile que le Sahara (Bisson, 2003). La rareté de l'eau dans un tel milieu aride constituait un frein au développement de l'agriculture oasienne tant en termes d'extension spatiale qu'en intensité culturelle. Elle constituait également une

ressource stratégique et un facteur régissant l'organisation sociale et la structure foncière au sein des communautés oasiennes (Kouzmine, 2012). Sa rareté et la difficulté de s'en procurer ont conduit les communautés oasiennes à développer au fil des siècles des liens étroits avec l'eau (Kouzmine et Avocat, 2007). L'accès à l'eau souterraine issue des nappes profondes a fait sauter les verrous existants, transformant le territoire oasien. La question principale de la thèse a été formulée comme suit :

Comment l'irruption des technologies modernes d'exploitation des eaux souterraines profondes a-t-elle transformé le système irrigué communautaire d'un territoire oasien ?

Pour répondre à cette principale question de recherche, trois questions spécifiques de recherche ont été formulées.

Premièrement, j'ai pour objectif d'analyser comment les ambitions politiques et les initiatives locales se sont croisées pour déverrouiller l'accès à l'eau souterraine profonde et développer de nouvelles dynamiques agricoles et sociétales au sein de, et en dehors de, l'ancien espace irrigué. Cet objectif sera abordé à travers la question suivante :

Comment l'accès à l'eau souterraine profonde a-t-il été déverrouillé et comment les technologies modernes de pompage ont-elles infléchi, transformé et accéléré les dynamiques territoriales, agricoles et sociétales ?

Deuxièmement, j'analyse comment la communauté d'irrigants a modernisé l'irrigation dans l'ancien espace irrigué en développant une utilisation conjuguée des eaux de surface et souterraines et en créant des marchés de service de l'eau. L'eau souterraine pompée a été souvent montrée du doigt pour son utilisation privative, « anarchique » et non-durable dans des contextes d'irrigation privée. En revanche, son intégration dans les systèmes irrigués communautaires amène à poser la question suivante :

Quelles sont les transformations que cette intégration de l'eau souterraine dans un système irrigué communautaire de surface imprime aux modalités de distribution, de partage et de gestion ?

Troisièmement, l'analyse des continuités et ruptures entre l'ancien espace irrigué et les nouveaux espaces irrigués développés en lisière de l'ancienne palmeraie sera abordée au travers de la question suivante :

Quelles sont les ruptures et continuités entre l'ancien et les nouveaux espaces irrigués juxtaposés ?

1.5 Territoire oasien de Sidi Okba

Marc Côte a vu juste en me proposant le territoire oasien de Sidi Okba comme zone d'étude. À partir de là, je me suis appropriée ce terrain en faisant fructifier mes observations avec une problématique très locale tout en remontant en généralité à la lumière des dynamiques internationales à travers la bibliographie.

Le territoire oasien de Sidi Okba est intéressant par le fait que l'irruption de technologies modernes d'exploitation des eaux souterraines profondes dans ce territoire, déjà en difficulté

avec une crise d'eau de surface, a participé activement à transformer et à diviser son système irrigué communautaire d'épandage de crue en deux espaces irrigués distincts. D'un côté, l'organisation sociale autour de l'accès et l'usage de l'eau via un réseau d'irrigation collectif, a été maintenue, voire même renforcée à l'intérieur de l'ancienne palmeraie. De l'autre côté, l'absence d'un réseau d'irrigation pérenne sur les anciennes terres d'épandage des eaux de crue descendant de l'Atlas Saharien qui entourent l'ancienne palmeraie a facilité la reconversion de l'irrigation collective des céréales à l'irrigation privée plus propice au développement de nouvelles formes d'agricultures de marché. Ces deux contextes a priori opposés sont très illustratifs de l'adaptabilité et du renouveau du système irrigué communautaire. La juxtaposition de ces systèmes traditionnels et modernes est également intéressante pour analyser comment les membres d'une même communauté d'irrigants jonglent entre la volonté sociale de préserver leur patrimoine culturel et hydraulique en modernisant le fonctionnement et l'organisation collective du système irrigué communautaire à l'intérieur de l'ancienne palmeraie, et l'ambition économique d'améliorer leur niveau de vie et leur statut social en saisissant l'opportunité de développer une agriculture de marché en dehors de l'ancienne palmeraie. De ce fait, le territoire oasien de Sidi Okba permet de discuter de la résilience d'un tel système irrigué complexe au travers de l'analyse des continuités et ruptures dans les deux espaces irrigués et agricoles. L'irruption de l'eau souterraine pompée dans ces espaces permet également d'explorer une possible concurrence territoriale sur la même ressource en eau et de révéler les vulnérabilités de ce système vis-à-vis de l'exploitation intensive d'une ressource en eau souterraine irrégulièrement renouvelée.

Le territoire oasien de Sidi Okba est également intéressant pour notre recherche comme cadre de tous les changements d'ordre politique, environnemental, social et économique qui ont secoué le Sahara depuis plus un demi-siècle. Les principaux changements sont : i) la construction du barrage de Fom El Gherza en 1950, ii) la Réforme Agraire de 1971, iii) les sécheresses des décennies 1970 et 1980, iv) la libéralisation du secteur économique, l'irruption de l'eau souterraine pompée, l'Accession à la Propriété Foncière Agricole (APFA) et l'émancipation des anciens métayers durant les années 1980, et v) les programmes de développement agricole et d'électrification rurale des années 1990 et 2000. Tous ces changements ont participé activement au remodelage du territoire oasien de Sidi Okba, à la transformation de son système irrigué communautaire et à la recomposition de ses espaces irrigués.

1.6 Construction d'un cadre d'analyse interdisciplinaire et multiscale pour dénouer l'écheveau d'un système irrigué complexe

Pour démêler la complexité du système irrigué de Sidi Okba et ainsi lire et analyser son renouveau, il fallait impérativement développer un cadre d'analyse permettant de comprendre les transformations hydro-sociales, territoriales, agricoles et politiques de ce système. La figure 2 présente le cadre d'analyse interdisciplinaire et multiscale qui met au centre ces différentes transformations. Le cadre d'analyse développé dans cette thèse propose différentes entrées pour aborder les transformations dans le temps et dans l'espace du système irrigué communautaire (fig. 2). Trois niveaux méthodologiques étaient nécessaires pour structurer mes recherches. Il fallait d'abord développer des cadres d'interprétation pour construire au fur et à mesure des

années de thèse une signification à mes observations, démontrer et interpréter les transformations multidimensionnelles qui ont accompagné le renouveau du système irrigué communautaire. D'après Berlan-Darqué et al. (2007) « *le paysage offre un cadre d'interprétation global qui permet au sujet, individuel ou collectif, de fusionner un ensemble de considérations significatives exacerbées par un contexte donné. L'évaluation du territoire, à travers ce cadre, permet à un acteur de qualifier et de donner du sens à une situation donnée* ». Dans mon cas, cela a commencé quand Marc Côté m'avait interpellé à l'entrée de l'ancienne palmeraie de Sidi Okba pour mieux cerner mon objet d'étude et cela a continué jusqu'à la fin de la thèse. Puis, il fallait instrumenter ma recherche par la construction d'approches et des méthodes.

L'approche de la Gestion Sociale de l'Eau constituait un bon point de départ. Elle a été développée par Sabatier et Ruf (1995) pour analyser les interactions entre les techniques, les institutions et les organisations, puis complétée par Riaux et Massuel (2014) en croisant trois dimensions qui entrent en jeu dans la gestion de l'eau, qui sont la dimension ressources en eau, la dimension technique (les infrastructures hydrauliques) et la dimension sociale (groupes sociaux, les pratiques d'irrigation, les institutions, la hiérarchie et les conflits sociaux...). Cette approche multidimensionnelle offre les outils nécessaires pour lire et comprendre les systèmes irrigués communautaires. Elle permet ainsi « *d'analyser leur fonctionnement technique et de prendre en compte et décrire leur cohérence sociale, d'observer également leur potentiel d'évolution susceptible d'accueillir des innovations intelligentes et mesurées* » (Bédoucha et Sabatier, 2013).

Cependant, l'irruption de technologies modernes de pompage des eaux souterraines profondes dans la zone d'étude avait engendré aussi de très fortes transformations en lisière de l'ancienne palmeraie. Les terres irriguées auparavant par l'ancien système d'épandage de crue ont été colonisées par la même communauté qu'à l'intérieur de la palmeraie et sont désormais irriguées par des forages privés. Il fallait donc s'intéresser à ce nouvel espace irrigué, lié au système irrigué de l'ancienne palmeraie par les ressources et par la communauté, active dans les deux espaces, afin de comprendre les transformations territoriales. Le triptyque classique de ce que constitue un territoire - espaces, ressources, acteurs (qui font partie de la dimension société) – appliqué aux territoires de l'eau (Ghiotti, 2006) – est utile ici pour analyser ces transformations, en lien avec l'irruption de technologies modernes de pompage. Un autre élément très frappant était la forte présence de l'état dans ce qui était *a priori* un système irrigué communautaire. C'était visible dans l'infrastructure et les institutions (barrage géré par les services hydrauliques ; forages installés par l'état ; bétonnage des répartiteurs), mais aussi dans les discours des irrigants. Comprendre l'évolution de ce territoire oasien demande donc de comprendre les politiques de l'état vis-à-vis du développement agricole à l'intérieur comme à l'extérieur des anciennes oasis. Ce développement agricole se matérialise particulièrement dans les exploitations agricoles (choix des cultures, pratiques agricoles, etc.), réparties dans le territoire oasien. À travers l'étude des pratiques agricoles et d'irrigation et les logiques des acteurs qui sous-tendent ces pratiques, les transformations agricoles pouvaient être déterminées, tout en illustrant l'interdépendance et la complémentarité entre l'ancienne palmeraie et ses extensions.

Pour cela, toutes les transformations qui ont participé directement ou indirectement au renouveau du système irrigué communautaire du territoire oasien de Sidi Okba, devaient être non seulement déterminées, mais emboîtées à travers le temps et l'espace (figure 2).

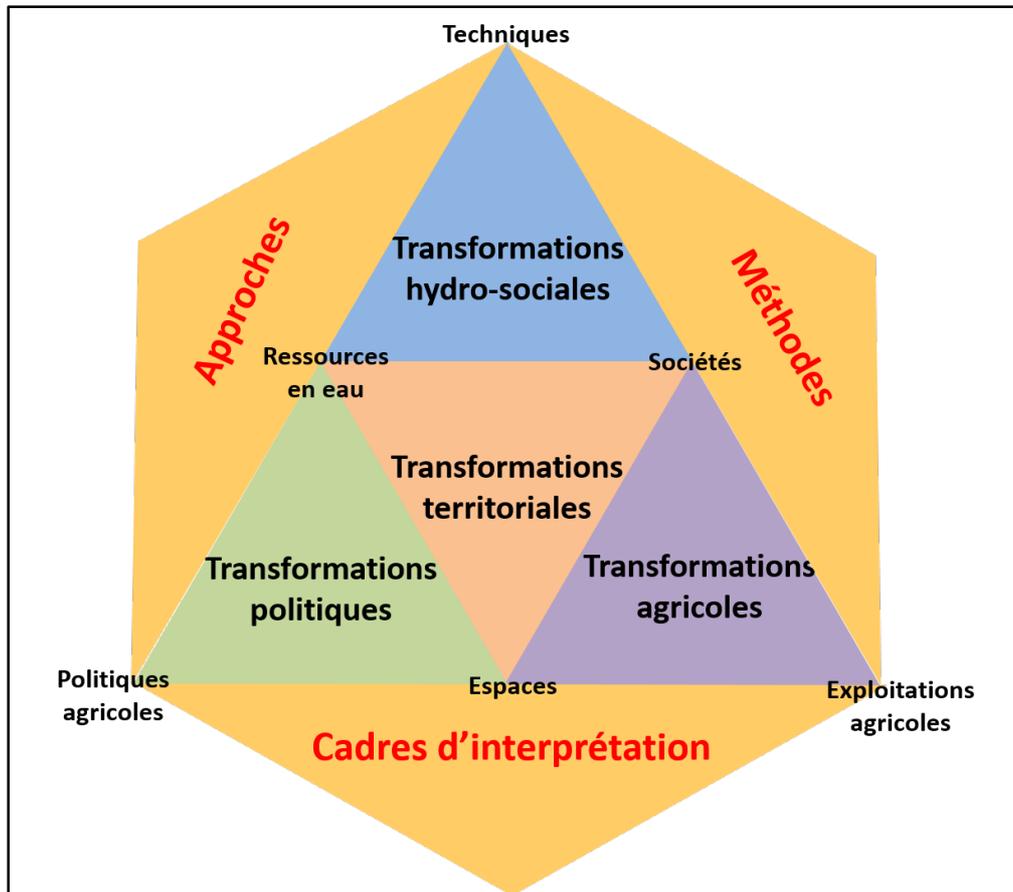


Figure 2. Cadre d'analyse interdisciplinaire et multiscale.

1.6.1 Entrée par les ressources en eau

L'une des transformations importantes du système irrigué communautaire de l'oasis de Sidi Okba est la multiplicité des ressources en eau mobilisées dans un même espace irrigué. Plus généralement, l'utilisation de ressources en eau complémentaires dans un réseau d'irrigation de surface géré par l'État, ou par les communautés d'irrigants, est de plus en plus fréquent dans les régions (semi-)arides (Meinzen-Dick, 1996 ; Strosser, 1997 ; Turrall et al., 2010). L'utilisation de la ressource en eau souterraine est de plus en plus répandue dans les systèmes irrigués de surface (Kuper et al., 2012 ; Shah, 2010). Toutefois, d'autres ressources en eau complémentaires non conventionnelles peuvent également être intégrées telles que les eaux usées épurées comme dans le cas de la *Huerta de Valencia* (Ortega-Reig et al., 2014) et les eaux de mer dessalées dans de nombreuses régions d'Espagne (Díaz et al., 2013). De tels changements demandent une prise en compte spécifique de chaque ressource en eau, ainsi que l'organisation de la cohabitation de plusieurs ressources au sein d'un même système irrigué.

Plusieurs ressources en eau, de natures et de propriétés physico-chimiques différentes, sont ainsi présentes dans le système irrigué communautaire de Sidi Okba. Elles empruntent le même réseau d'irrigation situé à l'intérieur de l'ancienne palmeraie. Actuellement, on retrouve les

eaux de lâchers du barrage de Foum El Gherza, les fuites d'eau apparues dès la mise en eau du barrage en 1951, et les eaux souterraines des nappes phréatique et captive mobilisées à partir de 1979 à travers plusieurs forages dispersés dans l'ancienne palmeraie de Sidi Okba. La volonté de comprendre l'empilement de toutes ces ressources en eau mobilisées m'a amenée à me rapprocher des directions chargées des ressources en eau (ANRH¹, DSH², Direction du barrage, etc.). Au cours des prises de contact avec des cadres de différents services, j'ai rencontré une personne qui portait un intérêt particulier à l'histoire du système irrigué communautaire. Cette personne portait la double casquette de cadre administratif et de membre de la communauté oasienne de Sidi Okba. Elle a recueilli au fil des années des documents anciens sur ce système (cartes, rapports, films, etc.). En plus de nos discussions, ces documents historiques m'ont permis de déterminer les grandes transformations hydrauliques qui ont participé au renouveau du système irrigué communautaire de Sidi Okba dans le temps et dans l'espace. Sur la base de ces premiers acquis, j'ai consacré trois phases de terrain aux ressources en eau.

La première phase de terrain avait pour objectif de recueillir des informations historiques et techniques sur chaque transformation hydraulique à travers des entretiens semi-structurés. Les entretiens réguliers avec le directeur du barrage ont permis de comprendre l'historique de la mobilisation de l'eau de l'oued El Abiod, l'aménagement du barrage de Foum El Gherza et l'exploitation actuelle du barrage (fréquences et durées des lâchers, capacité actuelle du barrage, etc.), l'origine des fuites d'eau du barrage et l'acheminement des eaux de lâchers et de fuites à travers les multiples canaux et le lit de l'oued Biraz. J'ai pu recueillir des données hydrologiques de 1919 à 2010 ainsi que les rapports de toutes les études techniques menées sur le barrage. Après la gestion du barrage, il a fallu comprendre l'origine de l'autre ressource en eau, i.e. les eaux souterraines, mobilisée actuellement à travers des forages profonds à l'intérieur de l'ancienne palmeraie. Ensuite, une série d'entretiens semi-structurés a été menée dans le but de retracer l'évolution des ouvrages de captage de l'eau souterraine (puits traditionnels, puits mécaniques, puits approfondis en forages et forages profonds), des nappes captées (nappe phréatique, nappes du Complexe Terminal), des équipements de pompage (pompe centrifuge, pompe verticale et pompe immergée), les profondeurs de captage et les sources d'énergie (force motrice animale, gaz, groupe électrogène et électricité). Ces informations étaient précieuses pour comprendre les stratégies et les pratiques d'utilisation des eaux souterraines des différentes nappes.

La deuxième phase de terrain avait pour objectif de comprendre l'allocation et la distribution des eaux de lâchers et de fuites d'eau du barrage entre les quatre palmeraies desservies par le barrage de Foum El Gherza, puis entre les secteurs hydrauliques à l'intérieur de la palmeraie de Sidi Okba. Pour cela, il a fallu identifier, cartographier et analyser le maillage des infrastructures du réseau d'irrigation de surface : canal d'amenée, canaux et répartiteurs principaux et secondaires, conduites souterraines, etc. Il a fallu également retracer les chemins empruntés par les eaux de fuite pendant et en dehors des lâchers. Ces fuites d'eau prennent naissance sur les deux rives de la digue voûte du barrage. Les fuites d'eau de la rive droite s'écoulent dans le canal d'amenée, et celles de la rive droite s'écoulent dans le lit de l'oued

¹ ANRH : Agence Nationale des Ressources en Eau.

² DSH : Direction des Services Hydrauliques.

Biraz. La complexité de l'allocation et de la distribution des eaux de surface dans le temps (pendant et en dehors des lâchers du barrage) et dans l'espace (infrastructures communes entre les quatre palmeraies et celles propres à chacune) m'a incitée à mobiliser la méthode de la carte parlée pour démêler cette complexité. La carte parlée est une forme de « cartographie participative » (Collard et Burte, 2014). Cet exercice méthodologique a permis à un aigüadier et à un irrigant de la palmeraie de Sidi Okba d'expliquer le réseau et les chemins de l'eau du barrage jusqu'au dernier petit canal à travers un dessin représentatif de la réalité. Sur la carte participative, ces deux personnes avaient également mentionné la proportionnalité entre les parts d'eau de chaque palmeraie et les largeurs d'ouverture des prises d'eau principales qui alimentent respectivement les palmeraies pendant et en dehors des lâchers d'eau du barrage, mais également entre les parts d'eau de chaque secteur hydraulique à l'intérieur de la palmeraie de Sidi Okba et les largeurs des prises d'eau secondaires. Cette description schématique a été complétée par des observations sur le terrain en compagnie de l'aigüadier afin de matérialiser les informations obtenues par le biais de la carte parlée (infrastructures et chemins de l'eau) en une carte géographique en utilisant Google Earth comme support de digitalisation et ArcMap pour la réalisation des cartes.

La troisième phase de terrain sur les ressources en eau a été consacrée aux mesures. Plusieurs campagnes hydrométriques ont été menées entre 2013 et 2015 sur les différentes ressources en eau mobilisées. Trois outils de mesures sont utilisés : le déversoir rectangulaire installé dans le canal d'amenée, le micro-moulinet dans les canaux et le débitmètre à ultrason pour les forages.

En ce qui concerne les ressources en eau de surface, une seule campagne hydrométrique a été menée sur le seul lâcher de barrage qui a eu lieu entre 2013 et 2015. En revanche, les fuites d'eau du barrage ont été mesurées à trois périodes différentes puisque leur débit varie selon la saison et selon l'année, en fonction du remplissage du barrage et de la cote de l'eau dans le barrage (Toumi et Remini, 2004). Une quatrième campagne hydrométrique était programmée en 2015, mais l'assèchement du barrage (0.5 Mm³) a entraîné le tarissement des fuites d'eau. Le tableau ci-dessous récapitule les périodes de mesures hydrométriques en fonction du stock d'eau dans le barrage.

Tableau 2. Les mesures hydrométriques menées à différentes périodes sur les différentes ressources en eau de surface

Mesures débitmétriques			
Date	Ressources en eau	À quel moment/lâcher	État du stock de l'eau
24/09/2013	Fuites des deux rives	2 jours avant le lâcher	Rempli (11 Mm ³)
27/09/2013	Lâcher + fuites rive gauche	2e et 11e jours du lâcher	Rempli (11 Mm ³)
15/09/2014	Fuites des deux rives	Un an après le lâcher	Peu rempli (2 Mm ³)
01/03/2015	Fuites des deux rives	15 mois après le lâcher	A sec (0,5 Mm ³)

Les stations de mesures ont été choisies stratégiquement pour renseigner au mieux les débits totaux, les débits alloués aux quatre palmeraies et les débits de fuites dans le réseau, par percolation ou par évaporation. Toutefois, étant donné que i) les chemins des eaux de lâchers et fuites ne sont pas les mêmes dans certains tronçons du réseau hydrographique, ii) le chemin, l'allocation et la distribution des fuites sont modifiés en fonction de la disponibilité ou non des eaux de lâcher, et iii) pendant les lâchers, les fuites de la rive droite sont mélangées aux eaux

de lâcher, les stations de mesures ont été choisies en fonction de ces spécificités locales. Ainsi, en dehors des périodes de lâchers, 12 stations ont été retenues pour la première et la troisième campagne de mesures réalisées sur les eaux de fuites. La méthode de mesure hydrométrique par un déversoir triangulaire à paroi mince a concerné une seule station qui est le canal d'amenée. Les responsables du barrage avaient installé ce dispositif de mesure pour quantifier les fuites d'eau de la rive droite de la digue. La méthode de jaugeage au micro-moulinet a été utilisée sur la majorité des stations (11/12). Cette méthode consiste à mesurer le débit par exploration du champ des vitesses. En revanche, pendant le lâcher d'eau du barrage, 11 stations de jaugeages ont été retenues en fonction des chemins de l'eau, l'allocation et la distribution de l'eau entre les quatre palmeraies. Toutefois, la plupart des stations de jaugeages choisies pendant et en dehors des lâchers d'eau sont les mêmes. Toutes ces mesures hydrométriques des eaux de surface ont permis de convertir les unités locales utilisées par les aiguadiers, en lien avec la largeur d'ouverture des prises d'eau, en un débit d'eau. Elles ont également permis de déterminer le volume du lâcher d'eau de 2013 qui a duré 45 jours et de mesurer les fluctuations des débits d'eau des fuites dans le temps.

Des mesures débitométriques à l'aide d'un débitmètre à ultrason ont été effectuées sur l'ensemble des forages présents à l'intérieur de l'ancienne palmeraie de Sidi Okba, mais aussi dans son extension, le périmètre de Tadjdid. Des mesures chimiques de trois paramètres (Conductivité Électrique, pH et Température) ont été réalisées à l'aide d'un appareil portable HANNA HI 98129. Ces mesures chimiques d'ampleur relativement modeste ont été nécessaires pour évaluer les qualités de l'eau d'irrigation en fonction des nappes captées et des profondeurs des forages. Ces mesures couplées aux caractéristiques physiques des forages (profondeur de l'ouvrage et de captage, type de branchements électriques, caractéristiques des pompes) obtenus par le biais des entretiens m'ont permis de développer une typologie des forages. Les volumes d'eau pompée ont également été estimés afin de renforcer la typologie des forages, déterminer le volume annuel prélevé à l'intérieur de l'ancienne palmeraie de Sidi Okba, mais aussi dans son extension, le périmètre de Tadjdid. Par ailleurs, les prélèvements d'eau souterraine de l'année 2014 ont été estimés par une méthode indirecte qui se base sur l'extrapolation des heures de pompage via les consommations annuelles de l'électricité (kWh). Pour cela, il a fallu, d'un côté, récupérer les factures annuelles d'électricité de tous les forages auprès de l'agence chargée de la distribution d'électricité, et d'un autre côté, faire des relevés sur le terrain de la consommation (Kw) par heure sur le compteur d'électricité de chaque forage.

L'ensemble des connaissances ainsi obtenues sur les différentes ressources en eau a été mobilisé dans les différents chapitres de cette thèse de façon transversale, et plus particulièrement dans l'analyse de l'utilisation conjuguée de ces ressources pour l'irrigation de la palmeraie (chapitre 3).

1.6.2 Entrée par le triptyque acteur-institutions-infrastructures

De par la coexistence de plusieurs ressources en eau de propriétés physiques distinctes (débits, flux, stock, etc.), des transformations dans les institutions de gestion de l'eau et les infrastructures d'irrigations ont été nécessaires à chaque intégration d'une nouvelle ressource en eau dans le système irrigué communautaire de Sidi Okba. Schlager et al. (1994) ont montré que les propriétés physiques des ressources en eau influent sur les arrangements institutionnels.

Cleaver (2012) a ajouté que « *les propriétés physiques d'une ressource en eau façonnent et sont façonnées non seulement par les institutions, mais également par l'infrastructure d'irrigation* ». Il s'agit là, par exemple, du débit d'une ressource entraînant des règles de distribution spécifiques, qui à leur tour vont influencer les débits véhiculés dans certains tronçons du réseau.

À travers ma première entrée sur le terrain (par les ressources en eau), j'ai constaté que la communauté d'irrigants de Sidi Okba avait intégré depuis plus d'un demi-siècle plusieurs ressources en eau dans les deux espaces irrigués en présence (l'ancienne palmeraie et les extensions) afin de générer continuellement de nouvelles alternatives pour assurer la fourniture d'eau aux cultures pratiquées (palmiers dattiers, mais aussi arbres fruitiers et cultures annuelles) et au plus grand nombre d'irrigants. La deuxième entrée par le triptyque acteurs-institutions-infrastructures était nécessaire pour analyser les transformations hydro-sociales du système irrigué communautaire de Sidi Okba, et pour comprendre l'intégration, l'usage et la gestion des différentes ressources en eau mobilisée. Ce triptyque a permis de mettre en relation notre compréhension de l'ensemble des ressources en eau mobilisées avec les adaptations opérées dans l'infrastructure et dans les institutions d'irrigation. Cela met en lumière les capacités de la communauté d'irrigants à renouveler son système dans le temps et l'espace en négociant avec l'État, en façonnant de nouvelles institutions, et en adaptant les infrastructures d'irrigation. Dans la continuité de l'approche de la Gestion Sociale de l'eau, j'ai pris en compte trois dimensions structurantes de l'organisation des systèmes irrigués communautaires : les acteurs, les infrastructures d'irrigation et les institutions de gestion. Il s'agissait ainsi d'adopter une démarche socio-historique, d'associer la compréhension de ces trois dimensions qui sont en forte interaction et de mobiliser la comparaison dans le temps et dans l'espace. Les trois dimensions devaient être analysées dans le temps et l'espace à chaque intégration d'une nouvelle ressource en eau dans le système irrigué communautaire de Sidi Okba afin de comprendre les transformations progressives de l'ensemble du système irrigué et de son organisation sociale. Il s'agissait également de comprendre la construction progressive d'une utilisation conjuguée des ressources en eau. Pour atteindre notre objectif, j'ai construit un cadre d'analyse spatiotemporelle du triptyque acteurs-institutions-infrastructures, qui s'articulent autour des différentes ressources en eau mobilisées au fil du temps (figure 3).

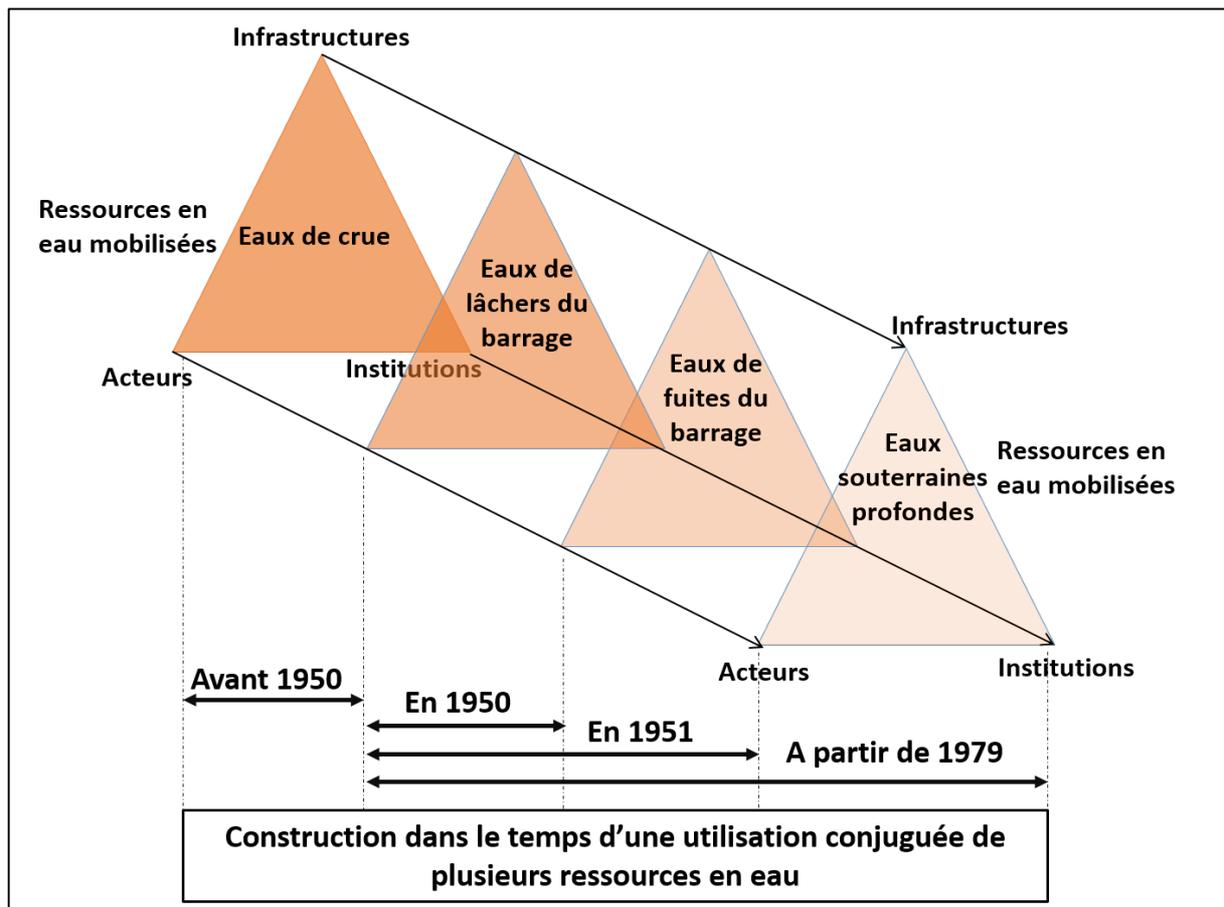


Figure 3. Cadre d'analyse spatiotemporelle du triptyque acteurs-institutions-infrastructures en intégrant la dimension des ressources en eau au centre

Cette démarche socio-historique a permis d'identifier et de caractériser les quatre grandes étapes de l'histoire hydraulique du système irrigué communautaire de Sidi Okba. La dimension « acteurs » a permis de comprendre : i) l'organisation collective ainsi que les initiatives individuelles autour de l'accès et de l'usage de l'eau, ii) les relations antagonistes entre les différents groupes socio-ethniques au sein de la communauté, iii) les jeux de pouvoir au sein de la communauté autour de l'accès et l'usage de l'eau, et iv) l'émergence de plusieurs fournisseurs d'eau souterraine, l'un formel et les autres informels. Ces informations ont été recueillies sur la base d'entretiens semi-structurés avec les différents acteurs locaux et administratifs concernés, mais également sur la base d'observations de l'allocation et la distribution de l'eau. La dimension « infrastructures » quant à elle matérialise les changements opérés dans le temps et dans l'espace sur le réseau d'irrigation de surface datant de l'époque de l'épandage de crue. Les ajustements sur ce réseau de surface ont été repérés grâce à la superposition de trois cartes représentant ce réseau à trois périodes : en 1937, 1957 et 2014. Les résultats obtenus par la comparaison des cartes ont été par la suite confirmés par des observations sur le terrain. Des entretiens semi-structurés avec les aiguadiers et avec les différents fournisseurs d'eau ont également été menés pour comprendre les raisons des ajustements techniques constatées, et pour comprendre leurs liens avec les propriétés physiques des ressources en eau et avec la cohabitation de plusieurs ressources en eau dans un même réseau d'irrigation. La dimension « institutions » quant à elle était plus difficile à entrevoir. Les institutions sont en effet façonnées par la vie sociale quotidienne, leur élaboration et leurs

évolutions, l'interaction entre les arrangements formels et informels, traditionnels et modernes, et les relations de pouvoirs qui les animent (Cleaver et De Koning, 2015), mais également du fait de l'intégration progressive de plusieurs ressources en eau de propriétés physiques différentes dans un même système irrigué. Ostrom (1992) a montré dans ses travaux sur les systèmes irrigués communautaires que le façonnage des règles était un processus continu et que ces règles devaient s'adapter à la variabilité des contextes économiques, politiques, environnementaux et sociaux. Pour retracer l'histoire du processus d'adaptation par le façonnage des règles au sein du système irrigué communautaire de Sidi Okba, il a fallu faire le chemin inverse en deux étapes : comprendre les règles actuelles puis revenir sur le passé. La première étape consistait donc à suivre et observer la distribution de l'eau pendant et en dehors du lâcher d'eau de 2013. Cette étape a également permis de déceler un autre ensemble de règles qui coordonnent la cohabitation des différentes ressources en eau dans le réseau et le comportement des différents fournisseurs d'eau souterraine présents dans la palmeraie. Sur la base des acquis de la situation actuelle, un retour sur le passé a mis l'accent sur les périodes d'adaptation des règles et sur les raisons de ces adaptations à travers des entretiens avec des acteurs qui ont joué un grand rôle dans ces adaptations. L'objectif était de déterminer : i) quelle règle a perduré dans le temps malgré le changement du contexte local, quelle règle a été supprimée ou remplacée par une nouvelle, à quel moment et pour quelle ressource, ii) quelle règle est appliquée quelle que soit la ressource et quelle règle correspond à tel ou tel type de ressource, et iii) quel lien existe entre les propriétés physiques des ressources en eau et les règles de distribution de l'eau.

1.6.3 Entrée par les politiques agricoles

La transformation du contexte politique au cours des périodes coloniale et postindépendance a joué un rôle majeur dans les transformations socio-spatiales et socio-économiques du système irrigué communautaire. La deuxième moitié du 20^{ème} siècle a été marquée par une succession de politiques hydrauliques et de politiques de développement agricole, de réformes agraires et de programmes de subventions pour donner accès aux populations à différents facteurs de productions (capitaux, terre, eau, intrants). Une période de verrouillage des ressources en eau, matérialisée par la construction du barrage et l'étatisation de l'allocation et la distribution de l'eau, a été suivie par une période socialiste avec l'ambition de diriger le développement agricole, en particulier à travers les réformes agraires. La transition d'une politique socialiste à une politique plus libérale au début des années 1980, couplée aux programmes agricoles, a permis de relancer l'agriculture saharienne à travers la conquête et la mise en valeur de nouveaux espaces agricoles basée sur l'accès à l'eau souterraine privée en dehors des anciennes palmeraies (Bisson, 2003 ; Côte, 2002). Les anciennes palmeraies sont restées en marge de ces initiatives de développement territorial promu et voulu par l'État. De par leur complexité sociale et agraire, elles étaient considérées par les pouvoirs publics comme inaptées à la mondialisation économique. Des programmes de préservation de ces anciennes oasis d'ampleur beaucoup plus modeste ont alors été menés, qui se sont traduits, par exemple dans le cas de Sidi Okba, par la réalisation d'une conduite souterraine pour réduire les pertes du canal d'amenée. L'entrée par les politiques agricoles m'a permis de comprendre les logiques des décideurs et d'analyser leur vision dichotomique du développement agricole saharien. Ce développement a été planifié sous forme binaire séparant par exemple le moderne du traditionnel, l'économique du social, le

global du local, l'individuel du collectif. L'exemple le plus emblématique de cette vision dichotomique est la conquête et le développement de nouveaux espaces agricoles sur de nouvelles frontières de l'eau, au détriment de la réhabilitation des anciennes palmeraies. L'entrée par les politiques agricoles m'a également permis de décortiquer à l'échelle locale les implications de cette vision dichotomique des décideurs politiques sur la division du système irrigué communautaire de Sidi Okba en deux espaces irrigués distincts : l'ancienne palmeraie dans laquelle l'organisation collective des ressources en eau a été maintenue, et ses extensions fondées sur l'accès privé à l'eau souterraine. Pour cela, une cinquantaine d'entretiens historiques semi-structurés ont été menés à l'intérieur comme à l'extérieur de l'ancienne palmeraie auprès d'acteurs clés qui ont connu les transformations majeures du territoire oasien de Sidi Okba. À travers ces entretiens, il a fallu, d'un côté, déterminer et comprendre les conditions locales et les ambitions de certains acteurs qui ont nourri l'envie de transformations, et d'un autre côté, comprendre comment ces acteurs se sont appropriés les discours politiques pour occuper les anciennes terres où se pratiquait collectivement la céréaliculture sur épandage des eaux de surface et reconvertir l'irrigation collective en irrigation privée basée sur l'accès aux eaux souterraines profondes pour y développer une agriculture de marché.

1.6.4 Entrée par le territoire

Dans la littérature, les nouvelles formes de l'agriculture saharienne sont souvent considérées comme une *creatio ex nihilo* indépendante de l'agriculture oasienne traditionnelle (Bensaâd, 2011). La transformation territoriale du système irrigué communautaire de l'oasis Sidi Okba, dans les deux espaces irrigués, m'a incitée à interroger les continuités et les ruptures entre ces deux espaces qui partageaient auparavant une même histoire hydraulique autour des eaux de surface (système d'épandage de crue) et une même communauté d'irrigants. De plus, Marc Côte a exprimé, lors de notre rencontre à Sidi Okba, des doutes sur l'idée de rupture radicale entre les deux formes d'agriculture sahariennes et leurs deux espaces irrigués juxtaposés, incertitude d'ailleurs exprimée dans ses écrits (e.g. Côte, 2002). À partir de ce raisonnement, il a fallu démontrer à travers l'entrée par le territoire que les nouvelles formes d'agriculture sahariennes sur les nouveaux espaces sont plutôt une *creatio ex materia* de l'agriculture oasienne traditionnelle. Pour cela, il a fallu dépasser d'un côté la perception dominante du développement agricole sous l'angle de dichotomies (tradition/moderne, social/économique, etc.), et d'un autre côté l'apparence de ruptures entre les deux formes d'agriculture saharienne, caractérisée par les systèmes de production et les modes d'accès à l'eau. Pour cela, les dynamiques agraires dans chacun des deux espaces ont été analysées dans le temps et l'espace. Le concept d'hybridité est mobilisé dans cette analyse en opposition à la vision dichotomique. Par définition, l'hybridité incarne une situation d'origine mixte ou une composition d'éléments dichotomiques (Gittell et Douglass, 2012). Ce concept a été mobilisé dans le but de montrer, à travers l'analyse des dynamiques agraires dans chaque espace irrigué, les interactions entre les connaissances et pratiques traditionnelles et modernes, les logiques sociales et économiques, les interventions étatiques et les ambitions sociales, et entre les actions collectives et individuelles. L'acceptation de cette réalité de terrain complexe et hybride, m'a permis de mettre en lumière les continuités existantes dans les deux espaces irrigués qui apparaissent opposés au premier regard et de montrer que l'agriculture pratiquée sur les nouveaux espaces est un « remake » ou réinvention de l'agriculture oasienne. Cette continuité dans la construction des

nouveaux espaces irrigués autour de l'ancienne palmeraie a été illustrée à travers les trois éléments de la territorialité (acteurs, ressources et espaces ; (Ghiotti, 2006). Cela m'a permis de donner du sens au fait que ce territoire composé de deux espaces irrigués est pourtant mis en valeur par les mêmes acteurs, mobilisant les mêmes ressources en eau souterraine.

1.6.5 Entrée par les exploitations agricoles

Les transformations agricoles se reflètent dans les logiques et les pratiques agricoles et dans la mobilité des agriculteurs entre les deux espaces irrigués. L'entrée par les exploitations agricoles est une approche classique en agronomie. Elle a permis d'illustrer l'interdépendance et la complémentarité des deux espaces irrigués à travers l'analyse des pratiques agricoles et des logiques économiques et sociales des agriculteurs dans le temps et l'espace en fonction de l'emplacement géographique des exploitations agricoles. Pour cela, il a fallu, en premier lieu, reconstituer la trajectoire spatiotemporelle des exploitations agricoles et la mobilité de leurs propriétaires au cours de ces cinquante dernières années. J'ai réalisé une vingtaine d'entretiens ouverts avec différents acteurs appartenant à différents groupes socio-ethniques, d'âges hétérogènes, et qui sont présents dans les deux espaces irrigués. Les résultats obtenus ont été par la suite présentés à d'autres acteurs locaux sous forme de reconstitution schématique afin de valider ma compréhension de la construction spatiotemporelle des différents types d'exploitations agricoles. À partir de cette typologie, j'ai, en deuxième lieu, mené des enquêtes technico-économiques sur un échantillon de 12 exploitations agricoles. Cet échantillon a été élaboré de sorte qu'il représente la diversité des exploitations agricoles, mais également les différents groupes socio-ethniques présents dans les deux espaces irrigués. Cette étude m'a permis de comprendre les effets des logiques sociales et économiques sur le remodelage du territoire oasien de Sidi Okba, la recomposition de la société locale et des rapports sociaux à l'intérieur comme à l'extérieur de l'ancienne palmeraie.

1.7 Organisation de la thèse

À la suite de ce chapitre introductif, quatre chapitres seront présentés sous forme d'articles scientifiques. Le choix de monter la thèse sous forme d'articles a permis la rencontre avec des chercheurs d'autres disciplines. Le croisement des regards sur un même objet d'étude a permis de renforcer les dimensions interdisciplinaire et multiscalaire du cadre d'analyse. La figure 4 donne un aperçu de l'organisation des chapitres.

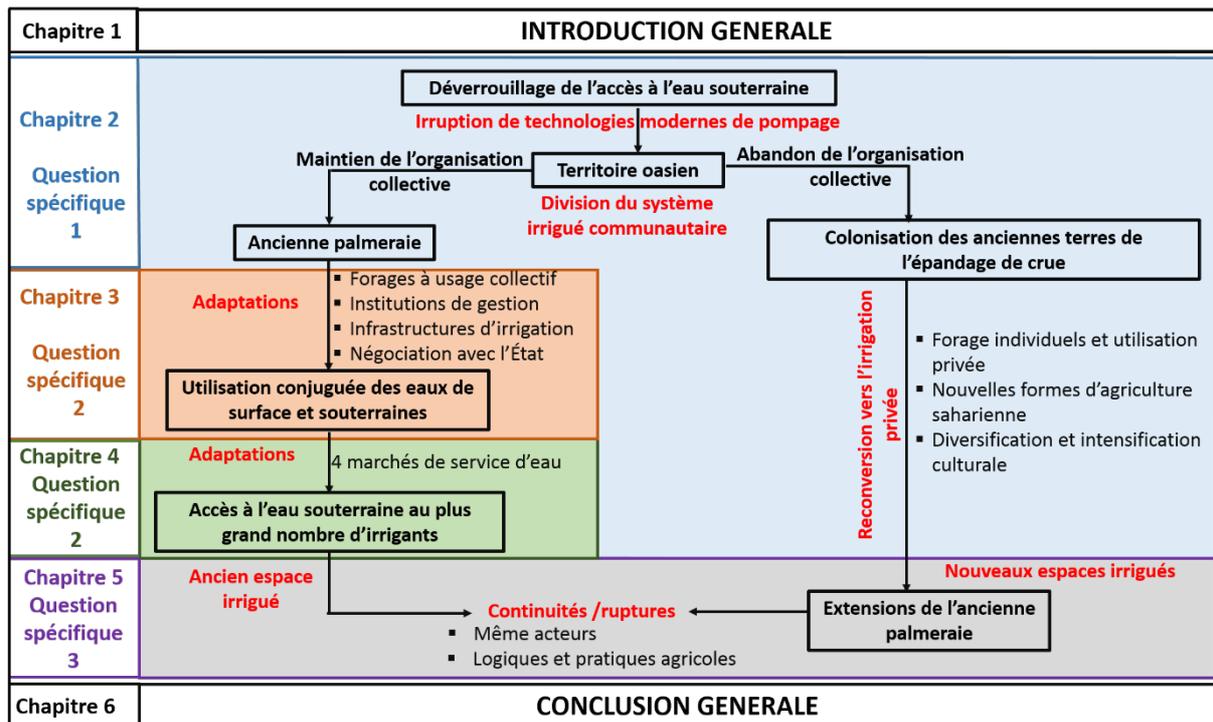


Figure 4. Organisation de la thèse.

Le chapitre 2 analyse comment l'irruption de technologies modernes d'exploitation des eaux souterraines a produit la division du système irrigué communautaire de surface en deux espaces irrigués distincts. Ce chapitre répondra à la première question spécifique de recherche : « *Comment l'accès à l'eau souterraine profonde a-t-il été déverrouillé et comment les technologies modernes de pompage ont-elles infléchi, transformé et accéléré les dynamiques territoriales, agricoles et sociétales ?* ». Les chapitres 3 et 4 s'intéressent à l'organisation collective autour de l'accès et l'usage de l'eau souterraine dans l'ancien espace irrigué de surface alors que dans la littérature l'eau souterraine pompée est souvent considérée comme un facteur perturbateur des systèmes irrigués communautaires. Il a fallu d'abord faire la lumière, dans le chapitre 3, sur les capacités de la communauté d'irrigants à adapter les institutions et les infrastructures d'irrigation et à négocier avec l'État pour développer une utilisation conjuguée de plusieurs ressources en eau dans un même réseau d'irrigation de surface. Ensuite, il a fallu comprendre, dans le chapitre 4, le lien entre le développement de plusieurs fournisseurs d'eau, l'un formel et les autres informels, et l'accès généralisé à l'eau au plus grand nombre d'irrigants. Ces deux chapitres réunis (chapitre 3 et 4) répondront à la deuxième question spécifique de recherche : « *Quelles sont les transformations que cette intégration de l'eau souterraine dans un système irrigué communautaire de surface imprime aux modalités de distribution, de partage et de gestion ?* ». Le chapitre 5 analyse le paradoxe de la rupture radicale entre les deux espaces irrigués qui apparaissent opposés au premier regard, alors qu'ils ne formaient à l'origine qu'un seul et même système irrigué communautaire, et alors qu'il existe des continuités qu'il faudra dévoiler afin de comprendre le développement territorial de l'ensemble du territoire oasien de Sidi Okba. Ce chapitre répondra à la troisième question de recherche : « *Quelles sont les ruptures et continuités entre l'ancien et les nouveaux espaces irrigués juxtaposés ?* ». Cette thèse finira par une conclusion générale (chapitre 6) qui reviendra sur la question principale de la thèse : « *Comment l'irruption des technologies*

modernes d'exploitation des eaux souterraines profondes a-t-elle transformé le système irrigué communautaire d'un territoire oasien ? ». Ce chapitre sera conclu par une discussion sur les implications de cette thèse sur le plan méthodologique et pour le développement.

Chapitre 2

Émancipation des jeunes des oasis du Sahara algérien par le déverrouillage de l'accès à la terre et à l'eau

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

Hamamouche, M.F., Kuper, M., Lejars, C., 2015. Émancipation des jeunes des oasis du Sahara algérien par le déverrouillage de l'accès à la terre et à l'eau. Cahiers Agricultures 24 : 412-419. doi : 10.1684/agr.2015.0777.

Chapitre 2. Émancipation des jeunes des oasis du Sahara algérien par le déverrouillage de l'accès à la terre et à l'eau

Ce chapitre interroge l'idée du renouveau des systèmes irrigués oasiens à l'ère de la modernisation et la mondialisation économique. Nous analysons dans ce chapitre comment le déverrouillage de l'accès à la ressource en eau souterraine, voulu par l'état dans une ambition de développement agricole, a permis à une communauté d'irrigants, en quête de reconnaissance sociale et à la recherche de nouvelles opportunités économiques, de s'émanciper en s'installant dans les nouvelles extensions par la force, tout en revenant par la suite dans l'ancienne palmeraie. Cela a transformé et divisé le système irrigué communautaire d'épandage de crue de Sidi Okba en deux espaces irrigués et agricoles distincts qui se matérialisent par la juxtaposition d'une agriculture traditionnelle dans la palmeraie où la communauté continue à irriguer collectivement et une agriculture de marché en dehors basée sur l'irrigation privée par les eaux souterraines. Les résultats de ce chapitre montrent que les transformations territoriales et agricoles sont la conjugaison d'ambitions politiques et d'initiatives de la société locale. Les processus de déverrouillage de l'accès et de l'utilisation de la terre et de l'eau souterraine en dehors de l'ancienne palmeraie voulue par l'État ont été repris à leur manière par les jeunes descendants de statut social inférieur (*khammès*) voulant s'émanciper, imité aussitôt par les jeunes descendants de statut social supérieur (*asliîn*). La colonisation des nouveaux espaces agricoles, aussi bien dans une visée sociale qu'économique a été confortée par la suite par un État plus libéral à travers une recherche de sécurisation du foncier et l'octroi de subventions pour l'accès privé à l'eau et la production agricole. Ce chapitre conclut que les déblocages successifs des verrous sociaux puis étatiques sur les ressources (terre, eau), ont permis aux populations oasiennes de redynamiser l'agriculture saharienne, de développer de nouvelles formes d'agriculture dans les extensions, mais aussi de renouveler les structures sociales à l'intérieur comme à l'extérieur de l'ancienne palmeraie, se traduisant par l'ascension sociale des descendants des anciens *khammès* et par l'ouverture sur de nouveaux investisseurs originaires ou non de la région. Le renouveau agricole, dont parlait Marc Côte (2002), est donc largement soutenu par les « réserves paysannes » d'une population s'inscrivant dans la durée sur ce territoire oasien (Bisson, 2003). De plus, l'irruption de technologies modernes d'exploitation des eaux souterraines profondes dans le système irrigué communautaire de surface à l'intérieur de l'ancienne palmeraie a revivifié l'agriculture oasienne traditionnelle qui souffrait d'une pénurie d'eau de surface tout en maintenant l'organisation collective autour de l'accès et l'usage des eaux souterraines. L'utilisation conjuguée des ressources en eau de surface et souterraine à l'intérieur de l'ancienne palmeraie sera analysée dans le chapitre 3.

2.1 Introduction

L'agriculture saharienne a pendant longtemps été en crise, et ce depuis le déclin des échanges transsahariens (Côte, 2002 ; Dubost, 1986). Certains géographes avaient prédit la disparition de l'agriculture oasienne traditionnelle face à l'irruption d'un monde moderne orienté vers l'économie de marché et l'industrialisation pétrolière, mais celle-ci a connu un renversement de situation durant les années 1980 (Dubost, 1986). Elle est ainsi passée d'une agriculture de subsistance, limitée spatialement, à une agriculture de marché de type « front pionnier », spontanée mais fortement encouragée par l'État (Bisson, 2003). Selon Côte (2002), « *les nouvelles formes d'agriculture saharienne se présentent comme un vaste front pionnier multifformes et multi lieux* ». Au cours de la seconde moitié du 20^{ème} siècle, les oasis maghrébines ont connu des mutations considérables telles que la transformation des hiérarchies sociales, l'émancipation des *khammès* (métayers au cinquième), l'ouverture sur d'autres activités économiques et le développement du salariat (Bisson, 2003). Ces transformations, couplées à une volonté politique de libéralisation du secteur agricole en Algérie, ont ainsi débouché sur un processus qui a « déverrouillé » l'accès à de nouvelles ressources en eau et en terre, en dehors des palmeraies existantes, et a permis de redynamiser l'agriculture saharienne tout en contribuant à l'émancipation des *khammès* (Dubost et Larbi-Youcef, 1998).

Dans cet article, nous nous intéressons au processus de déverrouillage des ressources naturelles (terre et eau souterraine) et à comment l'accès à ces ressources a-t-il infléchi, transformé et accéléré les nouvelles dynamiques agricoles et sociétales oasiennes. Le terme de « déverrouillage » nous a été inspiré par le géographe Marc Côte (2002). Il a mobilisé le terme « verrouillage » par référence à la construction de barrages et à leur contrôle par l'État, qui souhaitait ainsi orienter le développement agricole. Dans les régions atlasiques, ce verrouillage a fragilisé les rapports qu'entretenaient les communautés oasiennes avec l'eau de surface, et a perturbé la gestion des agrosystèmes oasiens (Kassah, 1998). Nous avons mobilisé le terme « déverrouillage » pour désigner le processus par lequel les acteurs ont obtenu l'accès au foncier et aux eaux souterraines sur de nouveaux espaces, colonisés depuis les années 1980. En Algérie, ce déverrouillage s'inscrit dans une période post-ajustement structurel de l'économie, qui se traduit par le désengagement financier de l'État et la libéralisation du marché, après une longue période de mise sous tutelle de la paysannerie (Bedrani, 1987). La lecture d'un processus localisé de déverrouillage de ressources productives doit considérer les transformations agricoles et sociétales qu'il met en jeu (Scoones et al., 2005).

Dans notre cas, le déverrouillage d'accès au foncier et aux eaux souterraines dans le Sahara algérien, a permis l'émergence de nouvelles formes d'agriculture saharienne en lisière des anciennes palmeraies. Le développement de ces nouvelles formes d'agriculture, basées sur un accès privé aux eaux souterraines et visant une agriculture de marché, apparaît à première vue en rupture totale avec l'agriculture oasienne traditionnelle. Cependant, celles-ci se sont révélées favorables à l'installation de jeunes oasiens, en particulier les descendants des anciens *khammès* et des *asliîn* (autochtones). Cela a représenté la porte de sortie d'un système oasien jugé contraignant (hiérarchies sociales, morcellement des parcelles, conflits d'héritage), et une opportunité plus propice aux initiatives individuelles (Bensaâd, 2011). Nous formulons l'hypothèse que les transformations du modèle agricole oasien se matérialisent par le développement de nouvelles dynamiques agricoles qui sont à la fois en rupture avec

l'agriculture traditionnelle, et en continuité sociale avec elle, car portées par des jeunes oasiens, s'émancipant à travers le dé verrouillage de l'accès à la terre et à l'eau. Nous avons pris comme étude de cas le territoire oasien de Sidi Okba, dans la région de Biskra en Algérie.

2.2 Méthodologie

2.2.1 Le territoire oasien de Sidi Okba

L'étude s'est déroulée dans le territoire oasien de Sidi Okba (4,043 ha ; figure 5), situé à 18 km à l'est de la ville de Biskra. L'oasis doit son nom au conquérant arabe Okba Ben Nafaâ, qui périt dans la région à la fin du 7^{ème} siècle. Ce territoire a subi par le passé un processus de verrouillage de l'eau de surface par l'État, avec la construction du barrage de Foug El Gherza, en 1950, sur l'oued El Abiod. L'oued alimentait autrefois quatre palmeraies, dont celle de Sidi Okba, et une agriculture céréalière irriguée par épandage de crue.

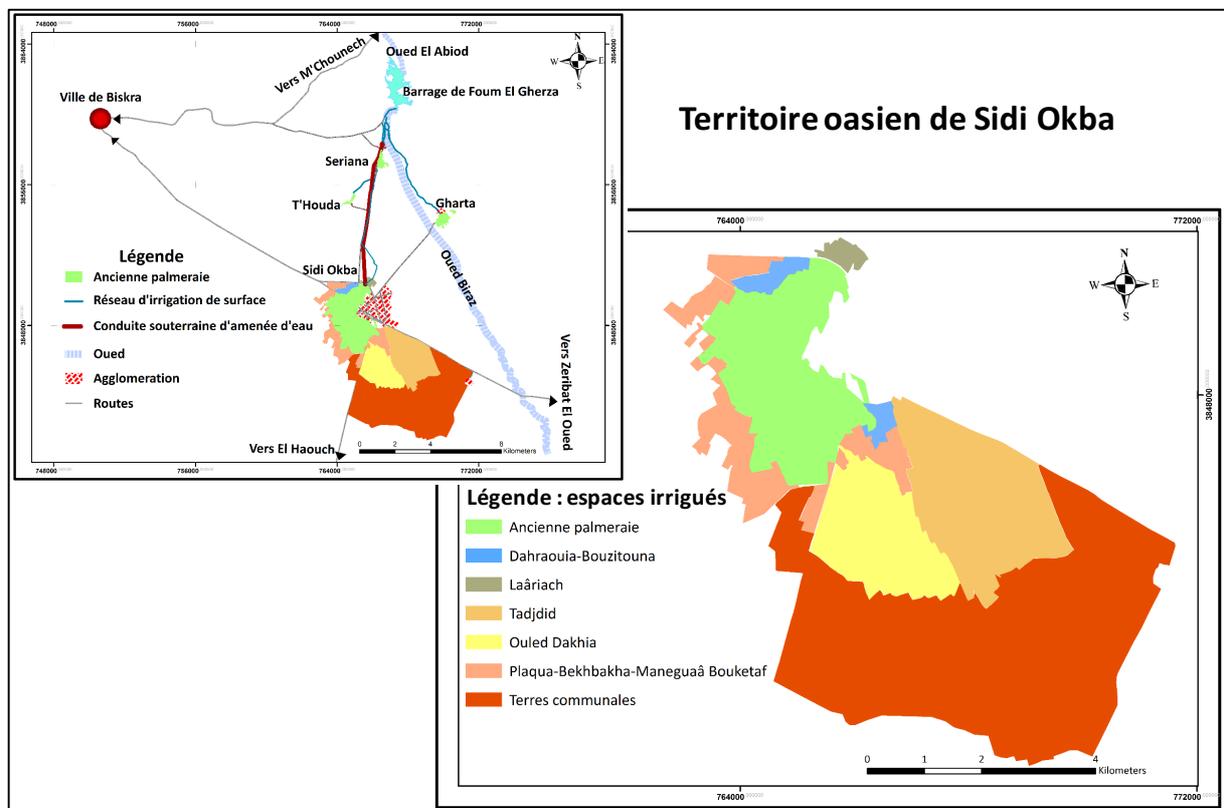


Figure 5. Reconfiguration du territoire oasien de Sidi Okba

Historiquement, l'oasis de Sidi Okba renfermait une structure socio-ethnique, dominée par de fortes inégalités sociales et d'accès à la terre, et donc aux palmiers et à l'eau. Schématiquement, deux groupes principaux se distinguaient. Les élites sociales (nobles) ou *asliîn* – constituées de quatre *aârch* (tribus), Ouled El Arebi, Ouled Salah, Ouled Chorfa et *Aârch* Laârouch – possédaient (avant la promulgation de la réforme agraire de 1971) la majorité des terres, des palmiers et des droits d'eau, à l'intérieur comme à l'extérieur de la palmeraie de Sidi Okba. Le groupe des *khammès* – les métayers phoenicicoles des nobles – issus des *aârch* Khadrane et Ouled Amar – étaient à l'origine des nomades qui se sont sédentarisés à Sidi Okba pendant la colonisation française. Moyennant un cinquième de la production agricole, ils effectuaient toutes les opérations de l'agriculture oasienne (pratiques culturelles, entretien des seguia,

dérivation de l'eau de l'oued). Ils ont longtemps été considérés comme allochtones par la communauté oasienne, avec un statut social inférieur. Cette identité sociale renvoie à la non-possession historique de terres, de palmiers et de droits d'eau. Ce n'est que dans les années 1960 que ce groupe a commencé à avoir accès à ces trois ressources pour gravir graduellement l'échelle sociale.

Le territoire oasien de Sidi Okba se compose aujourd'hui de six espaces irrigués (figure 5), qui s'articulent autour d'un unique centre urbain. L'ancien Ksour a laissé place à une agglomération qui ne cesse de s'accroître mais reste unipolaire. Selon les statistiques de la Direction des services agricole de Biskra, la commune de Sidi Okba s'étend sur 254 km² et compte 33,121 habitants en 2008.

Dans ce territoire oasien cohabitent actuellement deux modes d'agriculture :

- la phoeniciculture au sein de l'ancienne palmeraie et d'une extension (Dahraouia), avec une dominance de variétés communes de palmier dattier (N'houch) à faible valeur marchande ; en général, les autres strates (arboriculture fruitière, cultures annuelles) ont disparu ;
- les nouvelles formes d'agriculture qui se développent sur quatre nouveaux espaces mis en valeur à partir des années 1980, avec comme principales cultures des palmiers de variété *deglet nour* de plus grande qualité, l'arboriculture fruitière en monoculture, le maraîchage sous serre et de plein champ et enfin les céréales associées à un élevage ovin et bovin intensif.

Pour conduire ces différentes agricultures, plusieurs ressources en eau sont mobilisées. Il s'agit d'abord des eaux de surface constituées par les eaux de lâchers et les eaux de fuites du barrage de Foum El Gherza. Ces eaux sont destinées uniquement à l'irrigation de la palmeraie, et distribuées à travers un réseau d'irrigation de surface. Les eaux souterraines, dont l'accès et l'usage sont collectifs dans l'ancienne palmeraie et individuels dans les nouveaux périmètres, sont mobilisées à travers des forages profonds.

2.2.2 Approche

L'étude repose sur une analyse rétrospective de l'évolution du territoire oasien de Sidi Okba. 177 entretiens semi-ouverts ont été effectués avec différents acteurs : 146 agriculteurs sur les six espaces irrigués étudiés, 21 gestionnaires de service de l'eau d'irrigation et dix représentants administratifs. Ces entretiens ont été menés dans le but de décrypter l'évolution de ce territoire, et de déterminer :

- les grands leviers et facteurs contribuant au déverrouillage des ressources en eau et en terre ;
- les changements opérés dans les dynamiques agricoles et sociales sur le territoire ;
- la diversité géographique des dynamiques et de leurs origines.

2.3 Résultats

Nous présentons d'abord le processus par lequel les agriculteurs ont obtenu l'accès à la terre et aux eaux souterraines. Ensuite, nous analysons les dynamiques agricoles impulsées par le déverrouillage de ces ressources. Enfin, nous revenons sur les acteurs ayant porté l'extension de la palmeraie de Sidi Okba et les mutations progressives des rapports sociaux.

2.3.1 Colonisation de nouveaux espaces

Le processus de colonisation de nouveaux espaces en lisière de l'ancienne palmeraie a conduit à la reconfiguration du territoire oasien de Sidi Okba, avec comme corollaire l'émergence de cinq espaces irrigués autour de l'ancienne palmeraie (figure 6).

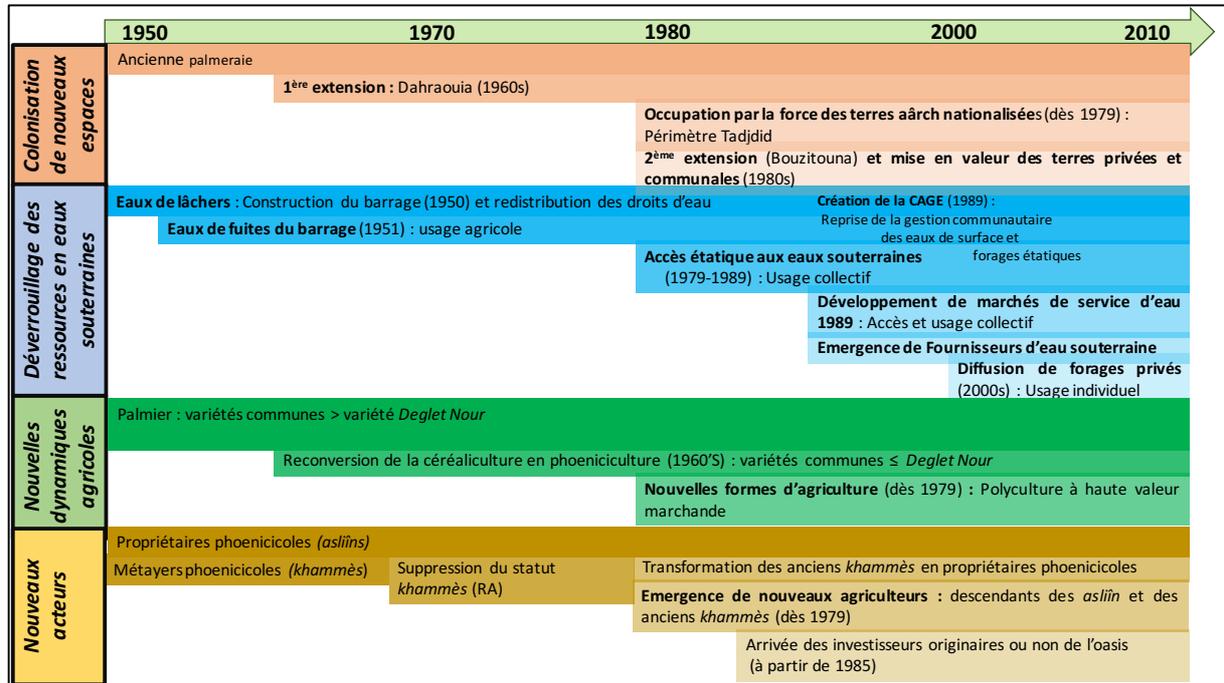


Figure 6. Frise chronologique des processus de verrouillage – déverrouillage du foncier et des ressources en eau

2.3.1.1 Des fuites du barrage qui permettent une première extension

Durant les années 1960, l'ancienne palmeraie de Sidi Okba (662 ha) a connu une première extension phoenicole (Dahraouia) sur 43 ha de terres privées. Cette extension a été rendue possible par les fuites d'eau du barrage qui ont été utilisées pour l'irrigation dès leur apparition, en 1951. Elle s'est concrétisée par la reconversion de la céréaliculture en phoeniciculture et l'apparition des premières parcelles de palmiers *deglet nour*.

2.3.1.2 Le verrouillage étatique du foncier par la nationalisation des terres aârch (collectives)

Avec la réforme agraire de 1971, le foncier des *asliîn* a été verrouillé par l'État tout comme l'eau l'avait été dans les années 1950. Ce verrouillage était conçu, à l'origine, comme un déverrouillage par l'État, puisqu'il visait à redistribuer la terre aux paysans sans terres, tout en supprimant le statut social de *khammès* (Aït-Amara, 2002). Les biens phoenicoles des *asliîn* qui n'exploitaient pas directement leurs terres ou dont les superficies excédaient un certain plafond, ont été nationalisés. Les terres *aârch* qui entouraient l'ancienne palmeraie où se pratiquait collectivement la céréaliculture par épandage de crue furent également concernées. Selon le rapport parcellaire de la Direction de l'hydraulique de Biskra de 1980, 97 *khammès* de Sidi Okba ont bénéficié de la réforme agraire. Certains anciens *khammès*, attributaires de cette réforme, ont restitué informellement les terres expropriées à leurs anciens propriétaires dès leur distribution : « je ne peux pas travailler une terre qui ne m'appartient pas » (Hadj, 77 ans). Ceux

voulant jouir de cette attribution ont vite été rattrapés par les sévères sécheresses des décennies 1970 et 1980, ainsi que par leur incapacité financière à entretenir et exploiter les parcelles attribuées. Au final, ils ont été contraints de les restituer avant même la promulgation de la loi d'orientation foncière de 1990, qui annula la réforme agraire de 1971.

2.3.1.3 L'occupation par la force des terres à l'extérieur de la palmeraie, puis la régularisation et la reprise par les nouvelles politiques à partir de 1979

Face aux contraintes de l'oasis – spatialement restreinte et limitée par la disponibilité des eaux de surface – et à la hiérarchisation sociale induisant des iniquités d'accès à la terre et à l'eau, certains jeunes ont profité de la période de transition politique de la fin des années 1970 pour s'appropriier des terres supposées « vierges », qui entouraient la palmeraie. La mort du président Houari Boumediene, et plus largement le « virage à droite » de la politique agricole qui annonçait une orientation libérale (Bedrani, 1987), ont suscité la première vague de colonisation, informelle, collective et mise en œuvre par la force physique, des terres *aârch* nationalisées. Ce nouveau périmètre, baptisé Tadjdid (renouveau), couvre 608 ha. Il était propice à l'appropriation, puisque les terres appartenaient désormais à l'État dont le verrouillage s'avérait moins puissant que le verrou social précédent, mais aussi parce qu'il avait été exclu des schémas de distribution des eaux de surface dans le but de préserver la palmeraie, y entraînant l'abandon de la céréaliculture irriguée par épandage.

La colonisation a été l'initiative des jeunes descendants des anciens *khammès*, qui voulaient devenir propriétaires terriens. Ils justifiaient leur acte par la célèbre slogan repris par le président Houari Boumediène, « *la terre appartient à celui qui la travaille* », qui se justifiait à la fois par l'option socialiste de l'État indépendant, mais qui reposait aussi sur le droit coutumier musulman qui stipule que « *l'usufruit de la terre revient à celui qui la met en valeur* » (Guébourg, 1998). Ils ont été rapidement imités par les jeunes *asliîn* de l'oasis, en réaction à un processus qu'ils jugeaient scandaleux : après avoir vu leurs terres nationalisées, ils assistaient à leur appropriation par les descendants des anciens *khammès*.

L'extension a ensuite été encouragée par les pouvoirs publics à travers la loi de 1983 sur l'Accession à la Propriété Foncière Agricoles (APFA). Elle a permis la colonisation de nouveaux espaces au-delà de Tadjdid, en favorisant l'implantation de nouvelles exploitations agricoles sur les terres communales, non cultivées auparavant (1908 ha). En principe, cette politique concernait les différents groupes sociaux qui s'opposaient sur les terres *aârch* nationalisées. Toutefois, les jeunes descendants des *khammès* furent privilégiés au moment des attributions foncières par l'État dans un esprit d'équité sociale, car considérés comme des paysans sans terres et porteurs en même temps de savoir-faire agricoles qui leur confèrent la renommée d'être de « vrais » agriculteurs (Otmame et Kouzmine, 2013). Cette loi foncière a également permis la régularisation de l'appropriation informelle de terrains agricoles sur les terres *aârch* nationalisées, dont Tadjdid. Certains dispositifs de la contre-réforme des années 1980, comme la clôture des opérations de nationalisation des biens agricoles et le lancement des programmes de subvention étatique, ont également soutenu le mouvement d'extension de la palmeraie (Bouzitouna ; 28 ha), en augmentant sa superficie initiale. Elle est passée de 662 ha en 1950 à 733 ha durant les années 1980. Les dispositifs politiques ont également permis la mise en culture de terres privées « vierges » en aval de l'ancienne palmeraie (Ouled Dakhia,

Plaqua-Bakhabkha-Menegaâ Bouketaf : 757 ha), non exploités auparavant par manque d'eau de surface et par crainte d'une nationalisation.

2.3.2 Déverrouillage des ressources en eaux souterraines

La mise en valeur des espaces colonisés ne pouvait se faire sans le déverrouillage parallèle des eaux souterraines indispensables à leur irrigation, en l'absence d'eaux de surface suffisantes. Les six espaces irrigués peuvent être distingués par leur statut foncier, mais aussi par le type de ressources en eau mobilisées et le mode d'accès et d'usage (figure 7).

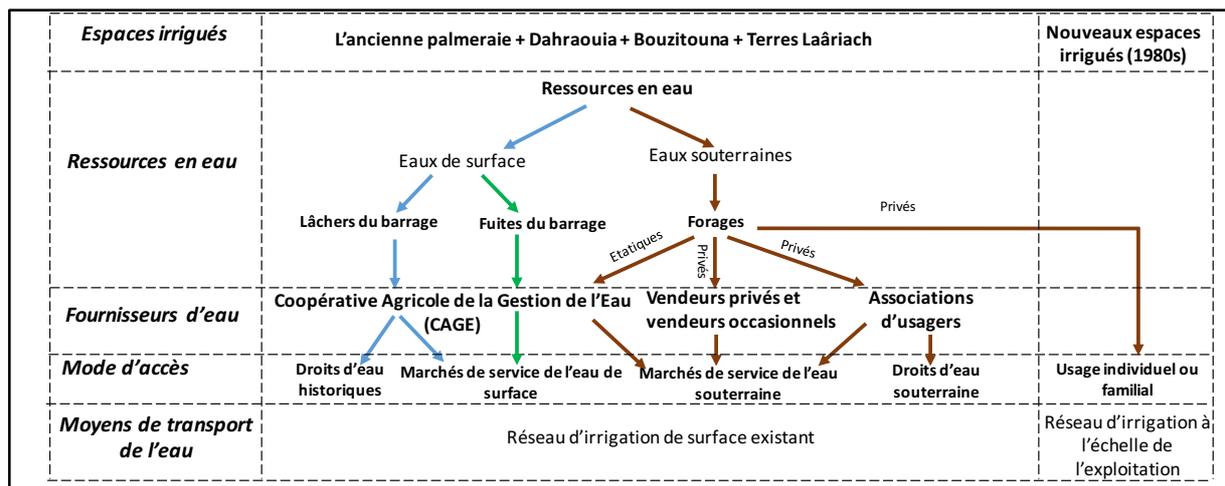


Figure 7. Les ressources en eau mobilisées dans le territoire oasien de Sidi Okba

2.3.2.1 Le verrouillage des eaux de l'Oued El Abiod n'était que partiel

La construction du barrage sur l'Oued El Abiod a fragilisé toute une culture de la maîtrise des eaux de surface par les communautés oasiennes. Le verrouillage physique de l'eau s'est accompagné d'une redistribution des droits d'eau, proportionnels au nombre de palmiers existant à l'époque, provoquant ainsi la stagnation de la superficie irriguée et la marginalisation de l'irrigation par épandage. Cependant, dès la mise en eau du barrage en 1951, des fuites sont apparues sur le site calcaire d'implantation de la digue. Ces fuites, dont le volume annuel varie entre 1 et 10 Mm³ (Hamamouche et al., 2017a), sont largement utilisées pour l'irrigation. Cette nouvelle ressource à flux d'eau continu et à petits débits, a permis aux communautés d'irrigants de maintenir un lien fort avec l'eau ; sa gestion reflète bien les transformations sociales et politiques à l'échelle locale. Elle était au début destinée aux *asliîn*, puis a été nationalisée pour la redistribuer aux anciens *khammès* en 1970 lors de la réforme agraire, et a enfin été reprise par une Coopérative agricole de la gestion de l'eau (CAGE) en 1989, sous la tutelle officielle de l'État. Dans cette coopérative les deux groupes sociaux sont présents.

2.3.2.2 L'État accède aux eaux souterraines profondes

Entre 1970 et 1980, les sécheresses successives qui se traduisaient par des irrégularités dans les lâchers d'eau du barrage, ont exposé le territoire oasien de Sidi Okba à une crise hydraulique. L'État a alors procédé à la réhabilitation du réseau d'irrigation en 1976, et à la réalisation, entre 1979 et 1984, de cinq forages – d'une profondeur comprise entre 275 et 807 m – captant la nappe Mio-Pliocène du Complexe Terminal, peu renouvelable. Ces forages ont été dispersés dans la palmeraie afin de couvrir la totalité de la superficie irriguée, et ont été installés à

proximité du réseau d'irrigation de surface existant pour faciliter le transport des eaux souterraines.

2.3.2.3 Une organisation collective dans l'ancienne palmeraie, des forages individuels en dehors

L'accès quasi exclusivement étatique aux eaux souterraines des années 1980, a évolué vers un accès privé généralisé à la fin des années 1990. À l'intérieur de la palmeraie, l'accès aux eaux souterraines reste collectif. L'investissement dans un forage individuel est rarement envisageable par les propriétaires pour trois raisons : le morcellement de l'exploitation, sa faible rentabilité et le coût élevé de l'investissement. De plus, au sein de la palmeraie, la communauté d'irrigants est très attachée à son histoire sociale avec l'eau, considérée comme un patrimoine collectif. Les eaux souterraines des forages étatiques sont acheminées vers le réseau d'irrigation collectif et sont vendues par la CAGE. Cette vente d'eaux souterraines, en rupture avec le mode d'accès traditionnel par des droits d'eau, a permis un accès généralisé à un grand nombre d'utilisateurs et a vite rencontré l'adhésion de la communauté. À partir des années 1990, d'autres fournisseurs d'eaux souterraines, privés et informels, ont fait leur apparition dans la palmeraie. Certains grands propriétaires, organisés en association d'utilisateurs, ont pris l'initiative de réaliser des forages collectifs. Il en existe actuellement trois. Les programmes de subvention des années 2000 ont ensuite favorisé l'émergence de vendeurs d'eau privés. Six revendeurs privés, disposant chacun d'un forage, ont été recensés. Quelques rares propriétaires de palmiers disposant de forages individuels, vendent occasionnellement de l'eau à leurs voisins pour des considérations sociales. Actuellement, l'ancienne palmeraie, les deux extensions périphériques (Dahraouia et Bouzitouna) et les terres privées de Laâriach, sont desservis par 19 forages à usage collectif (de 30 à 110 m³/h ; Hamamouche et al., 2017a).

À l'opposé, la majorité des nouveaux espaces irrigués reposent majoritairement sur l'accès individuel aux eaux souterraines. Les forages privés ont fait leur apparition à la fin des années 1990 et se sont diffusés dans les années 2000 grâce au soutien apporté par l'État. Ce mode d'accès est plus propice à la diversification culturelle et aux initiatives individuelles. Les exploitations sont de grande taille (10 ha), et les agriculteurs y pratiquent de nouvelles formes d'agriculture saharienne et mobilisent des techniques d'irrigation diversifiées (gravitaire, système de distribution californien à basse pression, goutte à goutte, aspersion).

2.3.3 Facteurs favorisant l'émergence des nouvelles formes d'agriculture

L'émergence des nouvelles formes d'agriculture est le résultat conjugué d'un ensemble de facteurs ayant participé au déclenchement puis à l'accélération du processus de déverrouillage de l'accès et de l'utilisation de la terre et de l'eau en lisière de la palmeraie de Sidi Okba. Le premier facteur déclencheur a été la volonté des jeunes de la communauté oasienne d'accéder à la terre. Pour les jeunes descendants des anciens *khammès*, c'était d'abord l'accès à un nouveau statut social lié à la propriété foncière. Alors que, pour les jeunes descendants des *asliîn*, il s'agissait avant tout de contenir cette conquête foncière.

Le second facteur déclencheur est l'accès aux eaux souterraines, d'abord via des puits familiaux peu profonds et à faible débit de pompage, puis plus tard via des forages majoritairement individuels. Pour des jeunes agriculteurs ayant peu de moyens financiers, il s'agissait de

pratiquer des cultures à cycle court (fève, melon, gombo, céréales) sur les terres communales et sur le premier espace approprié, Tadjdid. Leur objectif était de générer des revenus à court terme pour investir progressivement dans des palmiers *deglet nour* et dans l'installation de nouveaux forages. Sur les terres privées, l'accès aux eaux souterraines a encouragé leurs propriétaires, issus de la palmeraie et disposant de capital financier, à accroître leurs superficies phoenicicoles, mais en s'orientant désormais vers la variété *deglet nour*. L'émergence de foreuses artisanales, l'apparition du maraîchage sous serre durant les années 1980 et le développement progressif de commerces de matériels agricoles et hydrauliques au début des années 1990, constituent des facteurs accélérateurs des nouvelles dynamiques agricoles. Les programmes communaux d'électrification des régions agricoles des années 1990, ainsi que les programmes de subventions agricoles des années 1980 et 2000, ont également accéléré l'accès privé aux eaux souterraines.

Pour le moment, aucun facteur régulateur n'est venu encadrer les nouvelles dynamiques agricoles sahariennes. Les premières vulnérabilités environnementales commencent à apparaître : rabattement des nappes, dégradation de la qualité du sol et de la nappe phréatique. De plus, des inquiétudes liées à la volatilité des prix sur les marchés agricoles, le manque de main d'œuvre, des problèmes de financement ou de santé publique liés à la manipulation de produits phytosanitaires sans protection, sont de plus en plus évoquées par les agriculteurs.

2.3.4 Nouveaux agriculteurs et évolutions des rapports sociaux

La mise en valeur des nouveaux espaces irrigués a donné des opportunités aux jeunes oasiens de s'installer.

2.3.4.1 Accès au statut d'agriculteur pour les jeunes descendants des khammès

Auparavant, la vente de terres aux *khammès* était mal vue et l'héritage familial ne devait pas sortir de l'*aârch*. Cet interdit s'est estompé progressivement au cours de la seconde moitié du 20^{ème} siècle. Après l'Indépendance, la majorité des héritiers de l'*aârch* Ouled El Arebi se sont détournés de l'activité agricole en vendant une grande partie de leurs biens (terre, palmiers et droits d'eau), et ont opté pour d'autres activités économiques. Les *khammès* ont progressivement obtenu l'accès à la terre dans la palmeraie, en partie en récompense de leur engagement dans la guerre de libération nationale. Durant les années 1960, certains se sont mariés avec des descendantes d'*asliîn*. Puis, durant les années 1970, des transactions foncières sont devenues possibles grâce à l'action de restitution informelle, à leurs anciens propriétaires, des terres nationalisées dans la palmeraie. Au début des années 1980, cette paix sociale apparente a été troublée avec la colonisation par la force de terres *aârch* nationalisées par certains jeunes descendants de *khammès*. Cela a induit la différenciation de trois groupes d'anciens *khammès* :

- les moins jeunes, restés dans la palmeraie, qui sont parvenus à accéder à la terre et à l'eau par transaction (désormais plus taboue) ; ils possèdent actuellement, un grand nombre de palmiers et de droits d'eau qui leur confèrent un statut social important au sein de la communauté. Ils ont obtenu également une place importante dans les structures de gestion des eaux de surface et souterraines ;
- les plus jeunes, qui ont choisi de coloniser par la force le premier espace approprié, Tadjdid ;

– ceux qui ont gardé des terres à l'intérieur de la palmeraie et qui ont investi dans les nouveaux espaces irrigués, bien après la première période de colonisation à Tadjdid.

2.3.4.2 Ouverture sur de nouveaux agriculteurs : arrivée des investisseurs

Après la période de colonisation foncière, Sidi Okba a connu l'arrivée d'investisseurs à l'intérieur comme à l'extérieur de la palmeraie, reprenant les terres de certains jeunes agriculteurs en difficulté financière. Elle reflète également le désintérêt de certains jeunes *asliîn* pour l'activité agricole. Selon un descendant de *khammès* (47 ans) : « *les fils des nobles ont été chouchoutés durant toute leur vie et n'ont à aucun moment de leur vie tissé un lien avec l'agriculture, contrairement aux fils des khammès qui ont grandi au sein des exploitations agricoles* ».

On distingue deux grandes catégories d'investisseurs, en fonction de leurs origines et de leurs stratégies. Certains descendants des *asliîn* et *khammès* ayant acquis un capital financier par des activités non agricoles (pension d'ancien combattant ou liée à l'émigration en France), ont investi à l'intérieur comme l'extérieur de la palmeraie. L'investissement dans la palmeraie concerne surtout certains investisseurs *asliîn*, encore attachés à leur patrimoine natal, ou des descendants de *khammès* animés d'un désir de revanche sociale. L'investissement dans les nouveaux espaces irrigués concerne les descendants locaux (*asliîn* et *khammès*), voulant agrandir leurs exploitations agricoles ainsi que leurs parcelles phoenicoles. Sur ces espaces, des investisseurs étrangers à la région de Sidi Okba ont fait leur apparition à la fin des années 1980. Ces investisseurs ont joué un rôle majeur dans le processus d'intensification et de diversification culturelle. Ils ont apporté un petit capital financier, une main-d'œuvre familiale et un savoir-faire agricole solide pour pratiquer leurs cultures habituelles (oignon, arbres fruitiers).

2.4 Discussion et conclusion

Le nouveau dynamisme agricole saharien possède plusieurs visages. Plusieurs auteurs ont analysé les dynamiques de front pionnier dans le Sahara maghrébin (Bisson, 2003). Dans la région d'El Ghrouss en Algérie, pôle d'entrepreneuriat agricole par excellence (Khiari, 2002), cette dynamique est caractérisée par l'association de serres et de palmiers dattiers *deglet nour* sur une même exploitation agricole et est fondée sur des arrangements informels pour l'accès aux ressources entre une multitude d'acteurs, dont des jeunes venus du Nord porteurs de savoir-faire (Amichi et al., 2015). À contrario, à Sidi Okba, ce sont les jeunes oasiens, en quête de reconnaissance sociale et à la recherche de nouvelles opportunités économiques, qui ont déclenché cette dynamique en lisière de la palmeraie. Toutefois, dans les deux situations (El Ghrouss et Sidi Okba), les motivations des acteurs contribuant à ce dynamisme restent les mêmes : l'ascension sociale mêlée à une ambition économique et la constitution d'un patrimoine à base de palmiers dattiers. Cependant, à Sidi Okba, le renouveau agricole est largement soutenu par les « réserves paysannes » d'une population s'inscrivant dans la durée sur ce territoire oasien (Bisson, 2003). Les transformations agricoles des nouveaux territoires oasiens semblent à première vue en rupture avec les systèmes de cultures et les modes d'accès à l'eau ancestraux. Les agriculteurs pratiquent aujourd'hui des cultures à haute valeur marchande, souvent en monoculture et avec de nouvelles techniques d'irrigation. Les modalités

d'accès à l'eau ont connu aussi une évolution. Les eaux souterraines font l'objet d'un commerce dans la palmeraie, alors qu'à l'extérieur l'accès individuel domine.

L'accès aux aquifères profonds par pompage a mis à l'épreuve l'agriculture oasienne traditionnelle sur les plans social, culturel, économique et environnemental (Bensaâd, 2011). Toutefois, à Sidi Okba, l'eau souterraine a revivifié la palmeraie, qui souffrait d'une crise hydraulique. La communauté d'irrigants s'est adaptée aux eaux souterraines, en ajustant l'infrastructure existante pour accueillir cette nouvelle ressource en eau, en développant des marchés de service de l'eau souterraine et en adoptant de nouvelles règles de gestion de l'eau. Puis, elle a amené cette pratique de pompage des eaux souterraines dans les extensions pour y pratiquer de nouvelles formes d'agriculture. Selon Côte (2002), les communautés oasiennes ont la capacité d'associer « *tradition et innovation, sagesse paysanne et ouverture aux idées modernes* ».

Les opportunités offertes aux jeunes agriculteurs dans les nouvelles extensions ont eu des conséquences importantes sur la recomposition de la société locale et des rapports sociaux à l'intérieur comme à l'extérieur de la palmeraie, avec des interactions professionnelles et privées entre *asliîn* et *khammès*, et l'ouverture à de nouveaux investisseurs. La rencontre entre initiatives individuelles et volontarisme politique a marqué l'évolution du rapport des communautés oasiennes à leurs territoires, tout en composant « *une mosaïque de paysages agraires juxtaposant sur une courte distance les formes agricoles les plus modernes et les plus traditionnelles* » (Otmane et Kouzmine, 2013). Ces formes agricoles, dans notre cas l'ancien et les nouveaux espaces irrigués, sont complémentaires et interdépendantes pour la communauté oasienne, au plan économique et social. La possession d'un jardin dans l'ancienne palmeraie procure à son propriétaire le statut social d'un « vrai » phoeniculteur. Dans certains cas, les descendants des *khammès* ayant des exploitations dans les extensions, cherchent à investir dans la palmeraie pour s'affirmer auprès de la communauté. Pour des agriculteurs ayant des terres dans les deux espaces, l'agriculture dans les extensions compense l'agriculture souvent déficitaire des jardins de la palmeraie. Les exploitations agricoles dans les extensions procurent à leurs propriétaires plus de revenus et la logique de marché y est bien présente. Cependant, dans cet espace, l'agriculture est fondée sur une agriculture familiale, héritée de l'agriculture oasienne, ce qui se matérialise dans les rapports étroits entre la famille et le système de production, le capital et les processus de transmission de l'exploitation restant essentiellement familiaux.

Enfin, le processus de déverrouillage de l'accès et de l'utilisation de la terre et de l'eau, voulu par l'État dans un premier temps dans une optique de justice sociale à travers la réforme agraire, a été repris à leur manière par les jeunes descendants des *khammès* voulant s'émanciper, imités aussitôt par les jeunes *asliîn*. La colonisation de nouveaux espaces, cette fois-ci aussi bien dans une visée sociale qu'économique, a été confortée par la suite par un État plus libéral, à travers une recherche de sécurisation du foncier et l'octroi de subventions pour l'accès à l'eau et la production agricole. Les déblocages successifs des verrous sociaux puis étatiques sur les ressources (terre, eau), ont permis aux communautés oasiennes de redynamiser l'agriculture saharienne, de développer de nouvelles formes d'agriculture dans les nouveaux espaces, mais aussi de renouveler les structures sociales.

Chapitre 3

Utilisation conjuguée des ressources en eau de surface et souterraine dans un système irrigué communautaire – le cas de la palmeraie de Sidi Okba dans le Sahara algérien

Ce chapitre a été publié sous forme d'article dans la revue *Agricultural Water Management* :

Hamamouche, M.F., Kuper, M., Riaux, J., Leduc, C., 2017. Conjunctive use of surface and ground water resources in a community-managed irrigation system – the case of the Sidi Okba palm grove in the Algerian Sahara. *Agricultural Water Management*: 193, 116–130. doi:10.1016/j.agwat.2017.08.005.

Chapitre 3. Utilisation conjuguée des ressources en eau de surface et souterraine dans un système irrigué communautaire – le cas de la palmeraie de Sidi Okba dans le Sahara algérien

Ce chapitre interroge la construction d'une utilisation conjuguée de plusieurs ressources en eau à l'intérieur de l'ancienne palmeraie de Sidi Okba par la communauté d'irrigants. L'intégration progressive de nouvelles ressources en eau de surface et souterraine de propriétés physiques différentes (débit, flux et stock) a nécessité des transformations hydro-sociales du système irrigué communautaire de l'ancienne palmeraie de Sidi Okba. Ces transformations se sont matérialisées par des adaptations dans les institutions de gestion et dans les infrastructures d'irrigation à chaque intégration d'une nouvelle ressource dans le réseau d'irrigation de surface. Nous analysons dans ce chapitre comment les propriétés physiques de différentes ressources en eau mobilisées façonnent et sont façonnées par les institutions de gestion de l'eau et les infrastructures d'irrigation.

Les résultats de ce chapitre montrent que tout au long de son histoire mouvementée, la communauté d'irrigants a adapté les institutions et les infrastructures d'irrigation héritées de la période d'irrigation par épandage de crue pour intégrer puis gérer progressivement plusieurs ressources en eau (eaux de lâchers en 1950, eaux de fuites en 1951 et eaux souterraines à partir de 1979) ayant des caractéristiques physiques différentes en termes de débits, flux et stockage. Elle a également acquis avec le temps la capacité de négocier avec l'État en ce qui concerne l'allocation et la distribution de l'eau dans son système irrigué. Ce chapitre conclut que la capacité des communautés d'irrigants de longue date à renouveler leurs systèmes irrigués et à s'adapter aux différentes transformations hydrauliques est décisive pour expliquer la résilience de ces systèmes. L'héritage des savoir-faire et des pratiques sociales de l'irrigation par l'eau de surface a joué un rôle crucial dans l'intégration des eaux souterraines pompées dans le réseau d'irrigation. Les arrangements institutionnels élaborés pour gérer les eaux souterraines ont été largement inspirés par les dispositions prises pour distribuer les eaux de fuites du barrage à faible débit, mais à flux continu sous un système à la demande en utilisant le principe des marchés de service de l'eau. Nous allons nous intéresser plus en détail à ces marchés de l'eau dans le chapitre 4. Ce qui nous intéresse ici dans le chapitre 3 est comment la communauté d'irrigants a adapté l'infrastructure d'irrigation et a façonné de nouveaux arrangements institutionnels pour gérer la cohabitation de plusieurs ressources en eau, et à coordonner l'utilisation conjuguée des eaux de lâchers du barrage et des eaux souterraines, des eaux de fuites du barrage et des eaux souterraines, et des eaux souterraines pompées des différents forages présents dans le système irrigué.

3.1 Introduction

Irrigation systems were often considered as being organized around a single water source, usually surface water (Bouarfa and Kuper, 2012). This was the case of both community-managed irrigation systems and large-scale public irrigation schemes, especially in regions where rainfall is low (Turrall et al., 2010). In practice, many systems exploit alternative water resources in parallel with the main source of water (Scott and Garces-Restrepo, 2001). The alternative resource is often fresh groundwater, even in existing surface water irrigation systems (Shah, 2010), but may also be non-conventional water resources such as treated (or not) wastewater, brackish water pumped from confined aquifers, or even desalinated seawater or brackish water.

In the past four decades, groundwater has become the main alternative source of water in irrigation systems that were originally supplied with surface water (Alam, 2015), mostly thanks to individual access through wells and tube-wells (Margat and Van der Gun, 2013). There has been considerable enthusiasm for the use of groundwater as a source of improved livelihoods, increased water productivity, ‘liberating’ farmers from hierarchical or collective constraints related to the sharing of water in collective irrigation systems (Kuper et al., 2016; Schlager, 2007). On the down side, groundwater can also be viewed as a disruptive factor, hastening the decline of collective irrigation systems and disrupting collective action (Lightfoot, 1996). The spontaneous (unplanned, unregulated and unmanaged) use of groundwater sometimes has environmental and social complications, emphasizing the need to plan and organize the conjunctive management of surface water and groundwater (Foster and Van Steenberg, 2011). Conjunctive water management involves the coordinated use of surface water and groundwater over time and in space as two components of a single system (Blomquist et al., 2001). However, in most cases, coordinated water management is difficult to attain.

The first difficulty relates to the institutional dimension of conjunctive water management (Foster and Van Steenberg, 2011), i.e. adapting the irrigation institutions to ensure an adequate irrigation service to farmers and to improve agricultural production in a context of multiple water resources (Singh, 2014). The institutional issues involved in planning and managing conjunctive use of multiple water resources are often more difficult to resolve than the physical and operational constraints (Coe, 1990). This requires “*efforts to cooperate and coordinate across individuals, and also across distinct water sources that may be governed by different rules and under the control of different organizations*” (Blomquist et al., 2004).

The second difficulty relates to environmental aspects. Although the sources of water used for an irrigation system are often in hydraulic connection, ignoring the hydrological cycle and its specificities, (i.e. where does the water come from and how is it returned to nature) may create serious environmental problems and jeopardize the sustainability of an irrigation system. Today, the difficulty of managing conjunctive use is often finding a balance of groundwater use which avoids long-term water-table decline of deep aquifers, whilst also countering rising water tables and reducing the menace of waterlogging and soil salinization.

This article focuses on the social and material dimensions of the conjunctive use of multiple water resources in a community-managed irrigation system. It also discusses the potential

environmental problems of conjunctive use, in particular those related to the water resources. A recent paper on a famous surface water community-managed irrigation system - the Huerta of Valencia in Spain – published in this journal, showed that it is possible to incorporate supplementary water resources (groundwater and recycled wastewater) in an existing surface water system (Ortega-Reig et al., 2014). However, it is equally important to determine how the conjunctive management of surface water and groundwater takes place, its requirements in terms of irrigation infrastructure, and, perhaps more importantly, the new institutional arrangements - rules and organizations - and new forms of governance (Blomquist et al., 2001, 2004). Focusing on the changes in irrigation management, the present article explores the way the physical characteristics of new water resources shape and are shaped by “*human-made arrangements (institutions and infrastructure)*” (Cleaver, 2012) as a consequence of integrating new water resources in the surface irrigation system. The article builds on the hypothesis formulated by Ciriacy-Wantrup (1969) stipulating that in countries where an irrigation economy based on diversion of surface water “*preceded the need for modern groundwater institutions, these institutions could be built on the experience and mental attitudes already formed*”. More generally, (Ostrom, 1992) postulated that the shaping of institutions remains at the core of the evolution of community-managed irrigation systems, especially when they are continually confronted with changes in the environmental, economic and socio-political context.

3.2 Methodology

3.2.1 Study area

The study was conducted in the ancient Sidi Okba palm grove, near the city of Biskra in the Algerian Sahara. The irrigated area of Biskra covers 84,285 ha, of which 70% are based on private and individual access to groundwater and land (MRE, 2009). According to the same source, the remaining irrigated lands (30% of the total irrigated area) are managed collectively. These are 59 ancient palm groves including that of Sidi Okba (21% of the collective irrigated area) managed by irrigation communities and the recent agricultural development schemes (9% of the collective irrigated area) managed directly by the beneficiaries. The water resource currently used for irrigation is almost exclusively groundwater (94%) exploited through 4,293 shallow wells, 9,075 tube-wells and 24 natural springs in 2008 (Kuper et al., 2016). Wells are shallower (5-25 m) and have larger diameters (1.5-2.5 m) than tube-wells. They exploit the phreatic aquifer through motor pumps. Tube-wells are deeper (generally 150-300 m), but of a much smaller diameter (typically 10-30 cm). They exploit several aquifers, most often phreatic and confined aquifers, through submerged pumps. In addition to groundwater, two dams - Foug El Gherza in Sidi Okba and Fontaine des Gazelles in El Outaya – provide surface water for the (partial) irrigation of about 5,335 ha (MRE, 2009).

The Foug El Gherza dam supplies water to four ancient palm groves (752 ha), of which the Sidi Okba palm grove is by far the biggest. It receives the highest proportion (80%) of the dam release. For example, during the dam release in 2013, the Sidi Okba palm grove received a water discharge of 2100 m³/h out of 2700 m³/h. The high proportion it receives is due to its large area (733 ha) and large number of palm trees (150,000 of which 90% were planted before

1950). The case study focused on the collective irrigation system of this ancient palm grove (figure 8). Currently, the Sidi Okba irrigation community consists of approximately 4,000 water users belonging to two socio-ethnic groups: descendants of nobles and descendants of former sharecroppers (Hamamouche et al., 2015).

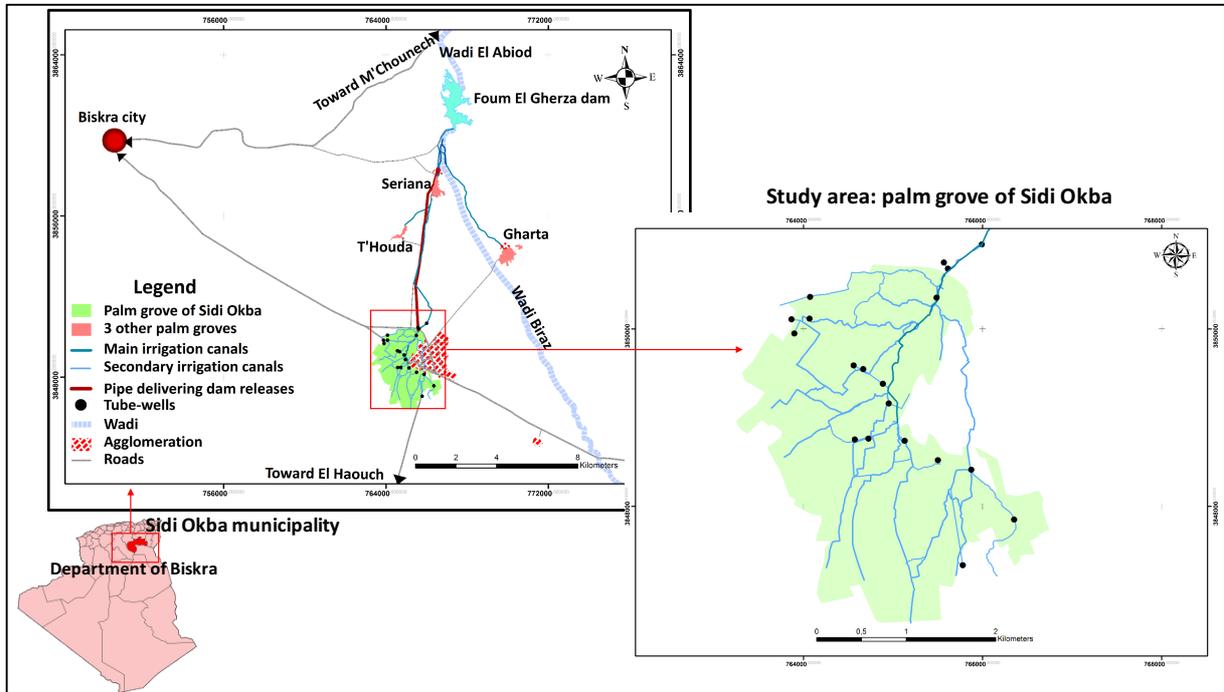


Figure 8. Waterscape of the Sidi Okba palm grove

Currently, the Sidi Okba palm grove is irrigated by surface water from the Foum El Gherza dam in the form of intentional dam releases and uncontrolled dam leakage, and by groundwater. The water released from the dam is transported to the entrance of the palm grove by a 10 km underground pipe installed in 1976 to reduce losses after several years of drought. The water leakage from the right bank of the dam is transported through the dam supply canal, while that from the left bank is transported through the old earthen supply canal. They are subsequently mixed at the beginning of the underground pipe to be transported to the entrance of the Sidi Okba palm grove. Inside the palm grove, the irrigation infrastructure consists of a main irrigation canal, 14 secondary irrigation canals and 19 tube-wells for collective use that are scattered throughout the palm grove. Inside the palm grove, surface water is managed by an agricultural cooperative under the supervision of the state. Each secondary irrigation canal supplies water to a hydraulic sector. The discharge of the dam release allocated to a specific hydraulic sector is still based on the number of palm trees that were already there when the dam was built in 1950. The pumped groundwater is also transported by the surface irrigation network. The 19 tube-wells are managed by formal and informal groundwater providers (Hamamouche et al., 2017a).

According to tradition, the ancient palm grove of Sidi Okba was first developed around the shrine of the Arab conqueror Okba Ben Nafaâ, who died in 683 AD. In the past, the palm grove and the cereals grown in its surroundings were mainly irrigated based on spate irrigation using the temporary Wadi Biraz (see Van Steenberg (1997) for more details on this type of

irrigation system). Surface irrigation by spate irrigation system was complemented by groundwater from manual wells, exploiting the phreatic aquifer, which was recharged by the surface irrigation system.

The construction of the Foug El Gherza dam in 1950 was meant to transform the system into a new single-resource state-managed irrigation system only fed by water from the dam reservoir. However, during the second half of the 20th century other water resources appeared, viz. springs fed by water leakages from the dam reservoir and pumping from deep aquifers. These new water resources were progressively integrated in the irrigation system, but with no attempt by the state to develop conjunctive management of these resources. Groundwater was formally included in the management of the irrigation system only after 1989, at the demand of the irrigation community through the establishment of an agricultural cooperative.

3.2.2 Research approach

To understand how actors coordinate and manage different water resources in an irrigation system, and how these different water resources interact, we need to understand the complexity of the oasis irrigation system managed by the community. A socio-technical approach was applied to link the material dimension (the irrigation infrastructure) and the social dimension to understand the shaping of institutional arrangements. This is in agreement with Cleaver (2012), who pointed out that “*institutions are primarily social arrangements, but they shape the way in which people physically manage and obtain access to material resources*”. The natural, social and technical dimensions of water management were thus taken into account (Aubriot and Riaux, 2013; Bédoucha and Sabatier, 2013), namely: the different water resources (surface water, groundwater), the irrigation infrastructure (dam, reservoir, surface network, wells, tube-wells) and the social dimension of irrigation, including the presence of social groups, the institutions for water distribution, social hierarchies and conflicts.

The three different dimensions (water resources, infrastructure and institutions) were analyzed using a historical approach to understand the changes in the community-managed irrigation system, as well as its contemporary functioning. The historical analysis revealed the changes that followed the integration of new water resources in the irrigation infrastructure, in the institutions (which rules were maintained, removed, newly shaped?) and in the configuration of actors involved. One hundred semi-structured interviews were conducted with water users, local managers and representatives of state administrations to identify these changes. Simultaneously, data about the water resources themselves (volume, frequency of delivery) were obtained from government sources (Foug El Gherza dam authority, hydraulic subdivision of Sidi Okba) and the agricultural cooperative in charge of the irrigation system. Others documents were also assembled such as: the technical 1969 report on the dam; ancient maps of the study area (1937 et 1957); the 1980 datasheet from the hydrogeological survey of Biskra of the Ministry of Hydraulics; inventory of all the tube-wells (depth, water quality, aquifer exploited) used by farmers across the department of Biskra, conducted by the National Water Resources Agency in 2008; and series of hydrological data from 1919 to 2008 (annual rainfall, annual volumes of dam releases, dam leakages, and the discharge of tributaries that feed the dam reservoir).

The history of the surface water used for irrigation was analyzed from 1919 to 2008. Maps drawn in 1937 and 1957 revealed changes in the irrigation infrastructure (surface network and number of wells). The entire irrigation infrastructure, including tube-wells and the surface irrigation network, was characterized, located and mapped through field surveys. In parallel, a database of the use of groundwater from the confined aquifer was developed. The little renewable Complex Terminal confined aquifer, which stretches over 1,000,000 km² and is shared between Algeria, Tunisia and Libya, is composed of several stratigraphic units. According to a 2008 inventory drawn up by the National Water Resources Agency (ANRH), the Mio-Pliocene is the most intensively used by the agricultural sector in the department of Biskra. The Mio-Pliocene aquifer (referred to as the aquifer of the sands) covers most of the department of Biskra. In the municipality of Sidi Okba, it lies at a depth of between 90 m and 250 m and has been exploited by tube-wells for irrigation since 1979. The discharge of all the water resources (dam releases, dam leakages and groundwater pumping) was measured between 2013 and 2015. The salinity of groundwater was measured by conductivity meters in all the tube-wells used in 2015. Irrigation practices and the distribution of the different water resources were monitored between 2013 and 2015. As part of the field surveys, a 45-day dam release was surveyed in September 2013. This event was followed by two dry years leading to the complete emptying of the dam reservoir without a single dam release in the years 2014 and 2015. These two extreme irrigation situations represent the whole range of possible conjunctive use of water resources and of functioning of the irrigation system. This enabled us to observe the rules in use for each situation. These observations were later discussed with the groundwater providers of the tube-wells and the water guards who were well informed about the shaping of the institutions: when they were created, for which water resource, who shaped them and for which need? These two extreme situations also allowed to detect and understand the adjustments made to the existing surface irrigation network as well as to water distribution when new water resources were incorporated.

3.3 Results

In this section, it is shown how groundwater has been integrated in a surface irrigation system and how different water resources are managed conjunctively. First, the three main historical periods of the Sidi Okba irrigation system are presented, viz. the spate irrigation system, the dam irrigation system and the groundwater-based irrigation system. Then the capacity of the irrigation community to renew the irrigation system is highlighted at each integration of a new water resource. This adaptive capacity was inherited from the surface water irrigation system and manifests itself through the ability: i) to negotiate with the state, ii) to adapt the existing surface irrigation network, and iii) to shape new rules when new needs arose.

3.3.1 A historical reading of water resources and the irrigation system of the Sidi Okba palm grove

The historical reading of the irrigation system of the Sidi Okba palm grove from 1919 to 2015 highlighted three main periods with respect to the water resources used and the configuration of the irrigation system (figure 9).

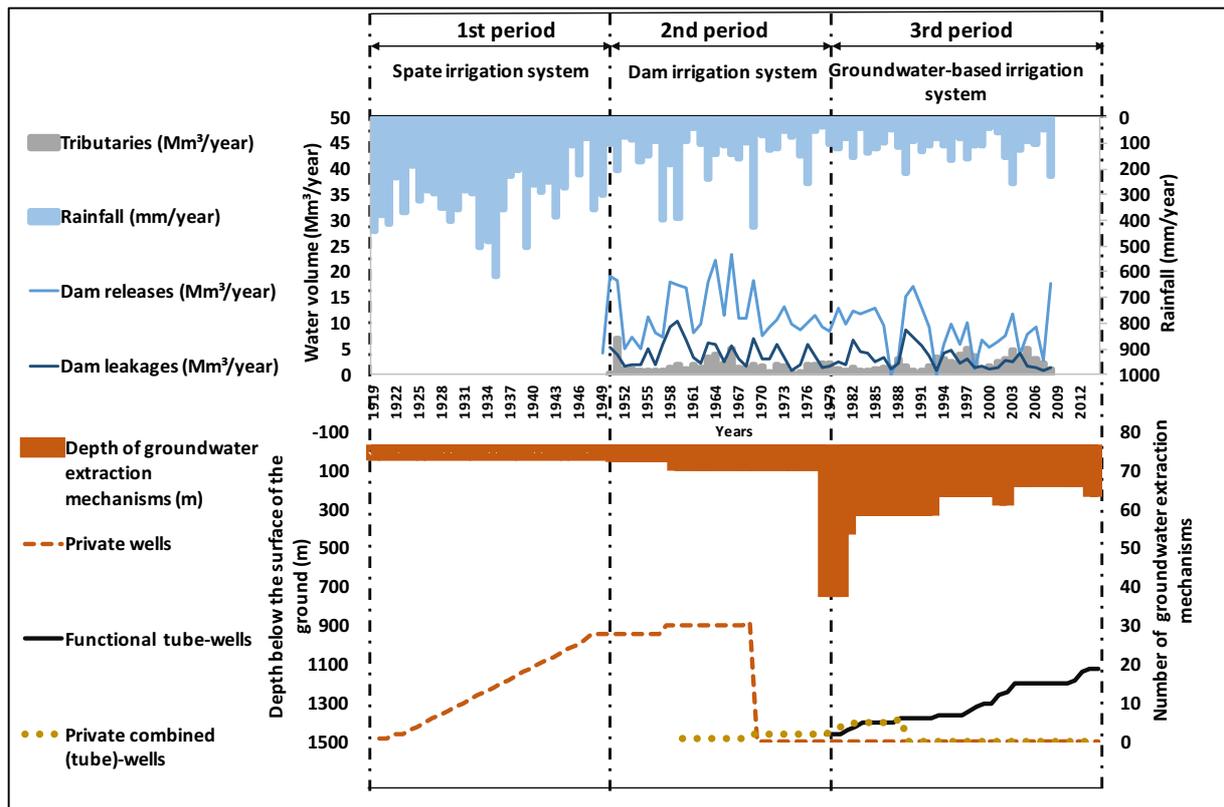


Figure 9. Historical overview of the use of surface water and groundwater in the Sidi Okba irrigation system

During the first period - before the construction of the dam in 1950 -, the irrigation system was mainly based on the use of floodwater through a spate irrigation system, with additional water taken from manual wells with the ‘*dalou*’ technique (Perennes, 1992), i.e. manual extraction of groundwater with the help of animal traction. In the second period, the surface irrigation system was mainly based on releases of dam water, and on (unplanned) water leakages from the dam (1950-1979). During the third period, from 1979 onwards, the irrigation system progressively integrated pumped groundwater from the confined aquifer. These three periods of the irrigation system of the Sidi Okba oasis will be analyzed in detail by focusing on the different water resources used, the actors involved in irrigation management, the irrigation infrastructure and the institutional dimensions (rules-in-use).

3.3.1.1 First period: the spate irrigation system

Before the dam was constructed, the spate irrigation system of the Sidi Okba oasis was based on renewable water resources. The Sidi Okba oasis irrigation community organized the diversion of floodwater from Wadi Biraz and, in addition, used shallow manual wells that were recharged by the floodwater. Figure 10 illustrates the first period of the irrigation system.

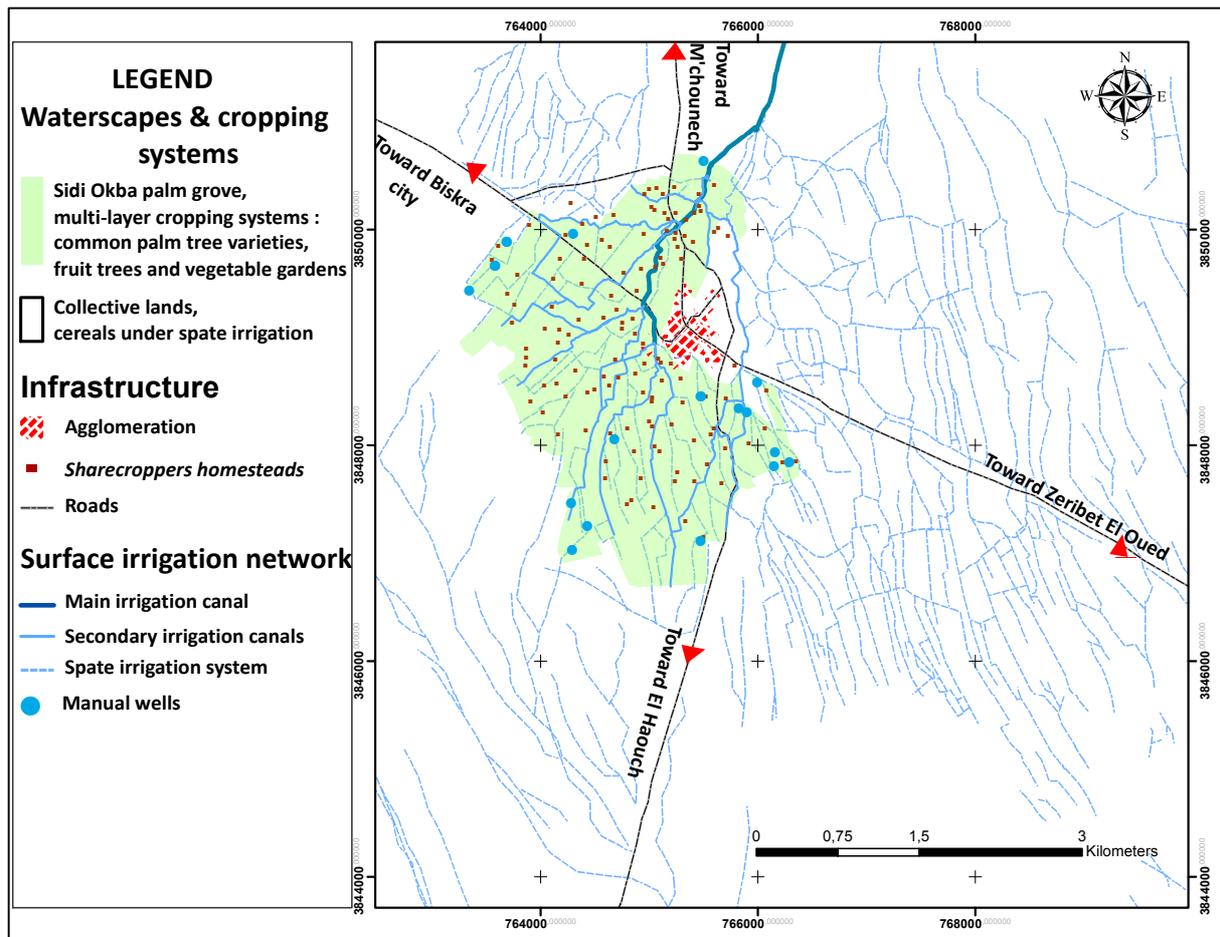


Figure 10. Spate irrigation system in the Sidi Okba oasis in 1937

Four oases, including Sidi Okba, received the torrential waters from wadis descending from the Aures range. In these Saharan Atlas Mountains, annual rainfall over the Wadi El Abiod catchment between 1919 and 1949 was around 325 mm (fig. 9). These Wadi El Abiod floods were evaluated at different periods, with maximum discharges of 1500 m³/s recorded in 1902 and 300 m³/s in 1920 (SCET coop, 1969). In addition, 16 manually operated wells, located on the 1937 map (fig. 10), supplied water for domestic needs, the watering of animals and supplemental irrigation of annual crops and fruit trees. The phreatic water table was near the surface of the ground (at a depth of less than 10 m, fig. 9). Surplus water drained naturally towards a natural salt lake (Chott Melghir). In addition, outside periods of flooding, the deep roots of palm trees were probably able to take water directly from the phreatic aquifer (Khoumsi et al., 2014).

The management of sudden flows of great magnitude relied on historically acquired know-how and organizational ability of the community. According to one of the respected elder members of the Sidi Okba irrigation community, *“the estimate of the duration of the floods was done at a glance according to the color and the smell of the floodwater. If the water had a brown muddy color and a faint odor, the floodwater originated not far from the outlet of the watershed, that is the gorges of Foum El Gherza, and the duration of the floods would be short. We would not build temporary diversion weirs for such floodwater as it concerned only small water volumes. It was not worth it to do a lot of physical effort and set up a collective organization. But when*

the water was black and loaded with sediments having a strong smell, with 'mugwort' in suspension, the floodwater originated from the center of the Aures mountains, and the duration of the floods would be long and therefore such floodwater allowed mobilizing a large water volume". During two large floods in spring and autumn, a small precarious diversion weir - locally called Foum El Gherza weir- was constructed upstream of the Foum El Gherza gorge, between Wadi Al Abiod and Wadi El Biraz (which is the name of Wadi El Abiod downstream of the gorge). This small diversion weir would survive until the next large flood and then be rebuilt. After the flood peak, water was diverted to the oases and was distributed through a network of earthen irrigation canals ('*seguias*'). Once inside the private gardens, the water was stored in irrigation ponds with a capacity of about 5 m³ in which 3 to 6 palm trees were planted. This irrigation technique also allowed the recharge of the phreatic aquifer and the storage of water for domestic use.

During the flood, sediments were transported in the water and deposited over the surface of the ground downstream. Over time, this fertile topsoil enabled the multilayered oasis cropping system: palm trees; fruit trees including fig, pomegranate and citrus, and annual crops. Outside the palm grove, 7,100 ha of cereals were also irrigated by the spate system (SCET coop, 1969).

3.3.1.2 Second period: Dam irrigation system

The longstanding balance between the oasis community and its environment and between surface water and groundwater was disturbed by an external intervention. The colonial administration extended its dam policy towards the Sahara with the aim of controlling water and of promoting high value crops (mainly dates), assuming this would be possible with a single water resource, i.e. surface water from the dam. The Foum El Gherza dam was constructed between 1947 and 1950 with an initial capacity of 47 Mm³ on Wadi El Abiod, one of the main wadis of the Aures Mountains. Figure 11 illustrates the second period of the irrigation system.

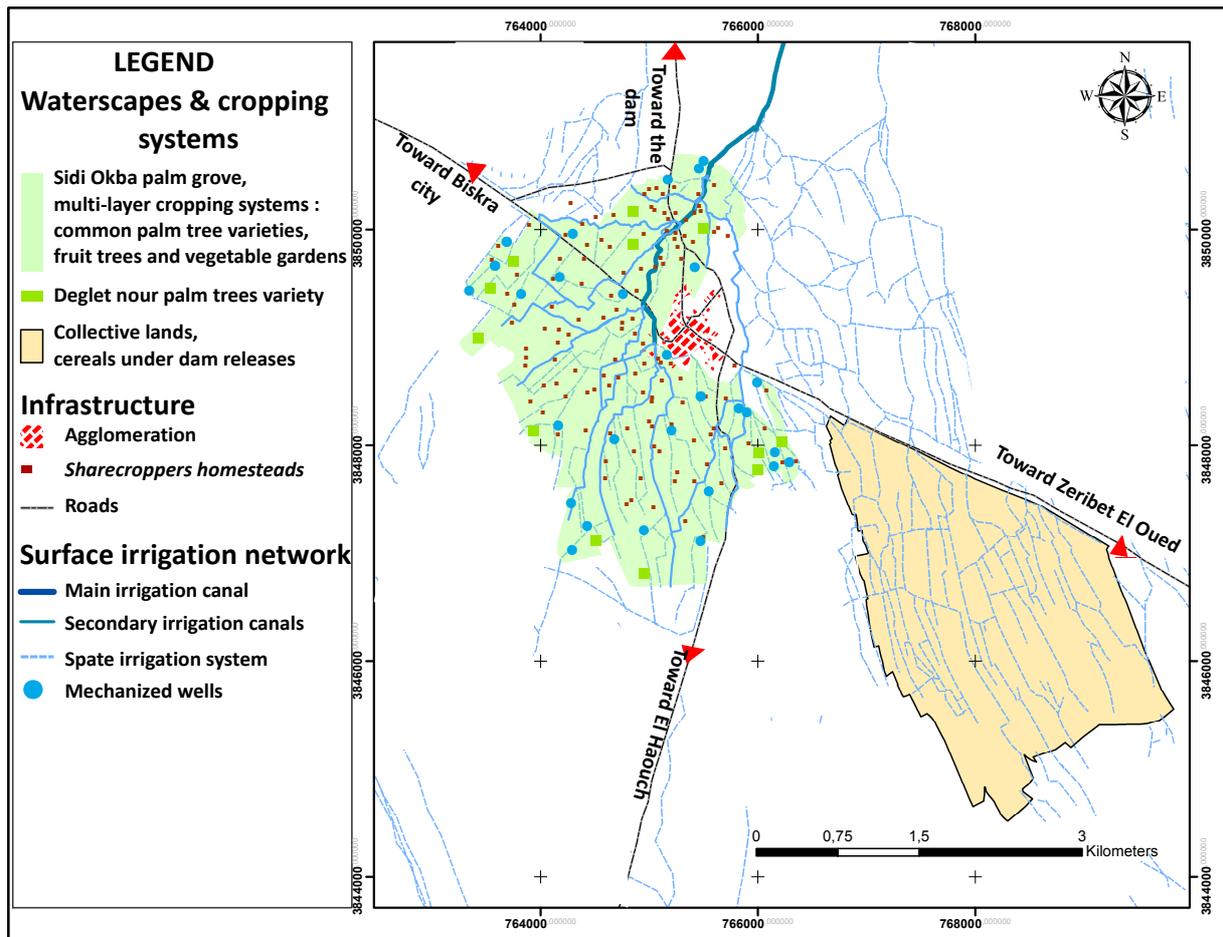


Figure 11. Dam irrigation system in 1957

The construction of the dam led to i) the gradual decline of the old irrigation practices and loss of know-how needed for spate irrigation, ii) the progressive impoverishment of the soil due to the interruption of regular inputs of sediment, and iii) the disruption of the water balance due to a decrease in the recharge of the phreatic aquifer. The dam stopped the flow of surplus surface water towards the Chott Melghir. According to elder members of the Sidi Okba irrigation community, “it is this flow over kilometers that allowed recharging the phreatic aquifer”.

The construction of the dam also encouraged some garden owners to increase groundwater use, especially since motor pumps appeared in the region at the same time (Bisson, 2003). Thus, the manual means of groundwater extraction were replaced these pumps. For the garden owners, access to pumped groundwater from the phreatic aquifer was a way to free themselves from state control. The depth of the water table decreased progressively as exploitation increased and groundwater extraction changed (fig. 9) from manual wells to a depth of 5-15 m before the 1950s, to mechanized wells reaching a depth of 25 m in the 1950s. In the 1960s and 1970s, some farmers then drilled tube-wells reaching a depth of 70 m. The rate of extraction of groundwater from the phreatic aquifer overtook that of its recharge. This resulted in a drop in the water table until all shallow wells dried up in the early 1970s.

After the dam was completed in 1951, the unexpected appearance of dam leakage created a new water resource. Dam leakages occur on both sides of the dike in the form of karstic drains in

the limestone bedrock of the dam, up to a depth of 80 m at least (Gouskov, 1952). The annual volume of dam leakage varied between 1 and 10 Mm³ (fig. 9), which is 2-21% of the capacity of the reservoir, and depended directly on the level of water in the reservoir (Toumi and Remini, 2004). According to a technical report (SCET coop, 1969), reinforcement of the waterproofing would be very costly and unnecessary since this water was already used by the oases downstream, including Sidi Okba oasis. Silting complicated the exploitation of the Fom El Gherza dam from its earliest years. According to the different bathymetric surveys, the dam capacity decreased constantly from 47 Mm³ in 1951 to 35 Mm³ in 1975 (26% siltation), 27 Mm³ in 1986 (43%), 16.8 hm³ in 2001 (64%), and to 10 Mm³ (80%) in 2010.

The area cropped with cereals and irrigated by the spate system rapidly decreased to less than 1,000 ha, i.e. 14% of the irrigated area before the dam construction (SCET coop, 1969). The spate irrigation system thus declined, and the functioning of the surface water irrigation system of the palm grove, where almost all surface water was now directed, became problematic. Between 1950 and 1970, before the periods of severe drought began, six dam releases were planned per year with a regular annual volume of 12.5 Mm³. Five dam releases, 2.4 Mm³ each, were intended to irrigate the palm trees of the four palm groves planted before 1950 (with surplus water used for cereals) and a sixth release of 0.5 Mm³ was intended only for cereals (SCET coop, 1969). However, in the case of large or exceptional floods, the annual volume of dam releases was increased (e.g. in 1966 the average volume was 23 Mm³, see fig. 9).

3.3.1.3 Third period: Groundwater-based irrigation system

In addition to problems of dam exploitation (water leakage and siltation), the successive severe droughts that hit the region in the 1970s and 1980s reduced the volume of water stored in the dam. This led to variability in dam water supply from one year to another, since the number and volume of dam releases per year depended on the level of water in the dam reservoir. The traditional oasis agriculture of Sidi Okba faced a water crisis. The palm trees were preserved at the expense of other crops inside the palm grove and that of the surrounding lands, traditionally cropped with cereals and irrigated by spate irrigation. Faced with many complaints from the irrigation community, the state sought access to the confined Complex Terminal aquifer to compensate for decreasing surface water resources (Hamamouche et al., 2015). Groundwater was integrated into the existing surface irrigation system, in particular to provide water for the palm trees. Figure 12 illustrates the third period of the irrigation system.

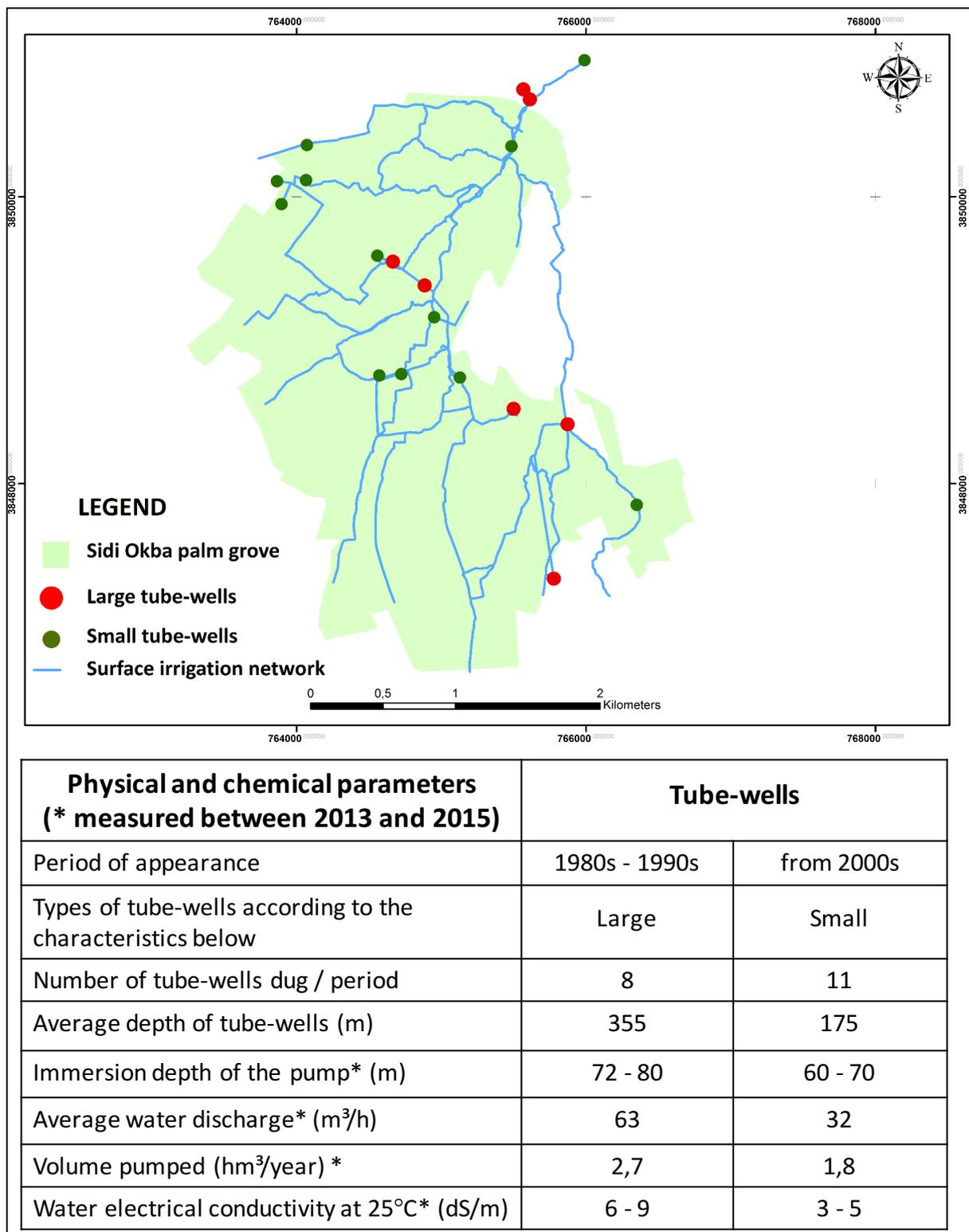


Figure 12. Groundwater-based irrigation system from 1979 to 2015

At the end of the 1970s, the state invested heavily to exploit groundwater from the little-renewable Complex Terminal aquifer, and drilled five large tube-wells between 1979 and 1984. Their depth decreased at each new drilling, starting from 807 m and then reducing to 275 m, as it was discovered that water was available at shallower depths. These large tube-wells were scattered throughout the palm grove, but close to the surface irrigation network to facilitate the

distribution of groundwater. Following this state initiative, some large garden owners decided to collectively access groundwater and drilled three large collective tube-wells to a depth of between 200 and 290 m. These eight large tube-wells simultaneously pumped water from the phreatic and confined aquifers. During a dry year, i.e. without dam release (the year 2014), the annual volume pumped by these eight large tube-wells reached 2.7 Mm³. Screens were installed along the tube-well to deliver a high average discharge (63 m³/h, fig. 12) with powerful submersible pumps. These pumping devices artificially connected two hydrogeological formations with different physical and chemical parameters. Groundwater in the confined aquifer, whose water was more saline, progressively contaminated the phreatic aquifer, whose water was of very good quality during the first and second periods in the history of the irrigation system. The electrical conductivity of the pumped water in these tube-wells is between 6 and 9 dS/m (fig. 12) with a concentration exceeding 3 g/l. In theory, this water cannot be used for irrigation without leaching the soil with good quality water. Since leaching with good quality water was not an option due to the irregularity of dam releases, at the end of the 1990s, the state decided to change the hydraulic configuration of the new tube-wells. The intention was to reduce the discharge, and hence the recharge of the phreatic aquifer by encouraging farmers to decrease the irrigation volumes, and to reduce the salinity of the tube-well water by looking for better quality water at shallower depths. Eleven small private tube-wells -to a depth of between 150 and 180 m- were drilled in the 2000s, of which five were subsidized by the state. The average water discharge of these new small tube-wells was less than half (32 m³/h, fig.12) of that of the first eight large tube-wells (63 m³/h). They exploited only the confined aquifer, with shallower tube-wells and using submersible pumps of less than 34 Amp. In a dry year, e.g. in 2014, the annual volume pumped by these eleven small tube-wells was 1.8 Mm³. This represents 30% less than the volume pumped by the eight large tube-wells. The salinity of the water pumped was below the threshold of 3 g/l. The water electrical conductivity was between 3 and 5 dS/m (fig. 12). Some of these tube-well owners even cemented the void between the unperforated pipes of tube-well and the soil down to a depth of 50 m below the surface of the ground. According to one tube-well owner, *“this operation ‘removes’ the phreatic aquifer which has become very saline due to excessive pumping and lack of leaching and drainage”*.

However, due to the increased dependence of agriculture on groundwater, the water level of the confined aquifer continues to decline. Owners of tube-wells told us they increase the depth of submersible pumps almost every two years, by adding a new 6 m long unperforated pipe. In 2015, the submersible pumps were located at a depth of 72 to 80 m below the surface for the 8 tube-wells that simultaneously exploit the two aquifers, and between 60 to 70 m for the 11 tube-wells that only exploit the confined aquifer. In 2014, the annual volume of water pumped from two aquifers (phreatic and confined) through 19 tube-wells was about 4.5 Mm³.

3.3.2 Legacy of the collective surface irrigation system: actors, institutions and infrastructure

The eventful irrigation history of Sidi Okba provided a rich heritage to its community, which turned out to be very useful when groundwater was integrated in the irrigation system. The irrigation community inherited i) the ability to negotiate with the state, ii) the existing surface irrigation network, and iii) the ability to craft new rules when new needs arose.

3.3.2.1 The irrigation community gradually recovered the management of all water resources

In the second half of the 20th century, the Sidi Okba irrigation community was confronted with heavy-handed interventions by the colonial administration and later by the independent state. Interestingly, it succeeded in retaining part of the management of the irrigation system and even staged a comeback in the 1980s, illustrating its capacity to negotiate with the state. Figure 13 illustrates the main changes in the water management that took place during the three main periods of the irrigation system.

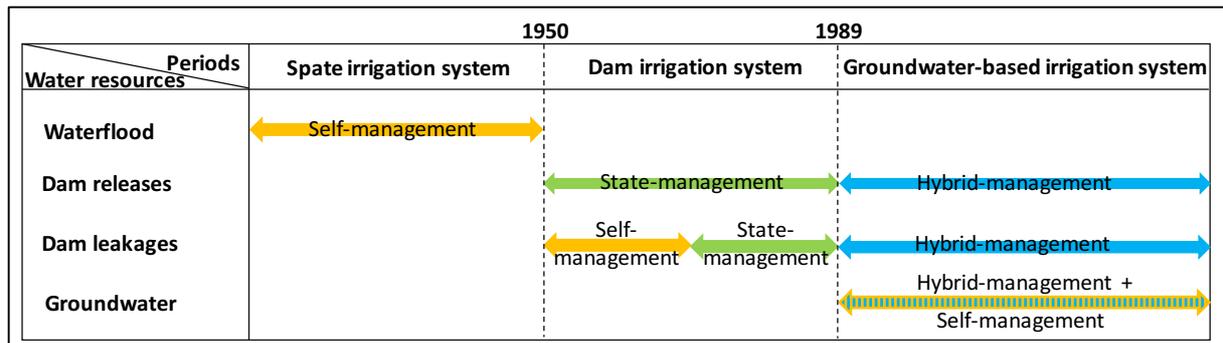


Figure 13. Changes in the management of the different water resources

The irrigation community had been almost entirely dispossessed of the management of the irrigation system when the dam was constructed in 1950 under the colonial regime. The large garden owners who belonged to the noble families of Sidi Okba were the ‘water lords’ of the palm grove before the dam was constructed. They owned the majority of water rights. The first success of the irrigation community in the re-appropriation of the irrigation water management dates back to this period. Under the persistent pressure of the former ‘water lords’ to recover their old water rights on the Wadi Biraz, the administration transferred the management and use of the dam leakages to the noble families in 1951. At that time the sharecroppers, who had an inferior status, were in charge of all agricultural and irrigation operations, but owned no land, no water and no palm trees (Hamamouche et al., 2015)

However, this first successful negotiation with the state lasted only 20 years. The independent state nationalized the water resource during the 1971 agrarian reform. Under the pressure of the Sidi Okba irrigation community, and before the droughts began, the state increased, in return, the duration and official volume per dam release. These went from respectively 20 to 25 days and from 2.4 to 2.7 Mm³ to irrigate the four palm groves. All the water rights established during the construction of the dam were increased by a quarter.

During the third period, conflicts arose between the irrigation community and the state. These were mainly due to irregularities in the dam releases, coupled with what the community considered to be unsatisfactory management of dam releases by the irrigation administration, especially the water turns. The state decided to transfer the management of dam releases to the irrigation community by establishing a dam association composed of 99 official members in 1983. The irrigation administration placed one of its main water guards at the head of this association to maintain some semblance of control over this resource. The management of dam leakages was also transferred to the association after the failure of the 1971 land reform.

In the meantime, the state also agreed to transfer the management of these five large tube-wells to groups of garden owners by creating tube-well associations to avoid possible conflicts around groundwater. Like in the case of the dam association, the state placed at the head of each tube-well association a water guard, who was responsible for monitoring water distribution. These attempts to mitigate the water shortage and to avoid conflicts with the irrigation community partially failed. Only some garden owners among the 4,000 water users of the palm grove had access to groundwater. This exacerbated conflicts not only between the state and the irrigation community, but also within the irrigation community, i.e. between beneficiaries and non-beneficiaries of the state tube-wells. To resolve the conflicts around the state tube-wells, some people in high places, natives of Sidi Okba, sought a compromise that would suit the different stakeholders. The experience of the dam association in providing surface water and dam leakage water to all users was viewed favorably by state representatives and the irrigation community. Finally, a hybrid management structure involving both the community and the state was established in 1989 by creating an agricultural cooperative, placed under the authority of the Ministry of Agriculture. The board members and staff of this agricultural cooperative became employees of the public service. The agricultural cooperative thus obtained the management of surface water (dam releases and dam leakages), and of four state tube-wells after which their associations were dissolved (Hamamouche et al., 2017a). The fifth state tube-well remained independent, as its president did not want to relinquish it.

With the creation of the agricultural cooperative in 1989, its president informally negotiated with dam officials to increase the official duration of dam releases (25 days) by 5 to 10 days, for the same final volume (2.7 hm³ for the four ancient palm groves). The official water discharge of the dam release of 4,500 m³/h was thus reduced by 17% to 30%, depending on the number of additional days. The community needed the extra days to irrigate the 20,000 palm trees planted after 1950 (which were not included in the official water rights) and located in other gardens. Therefore, the water users agreed to receive less water release for a same water right, but during the extra period of dam releases, they could buy extra surface water from the cooperative. The official increase in the allocated volume and in the duration of dam releases is also observed after some months of drought. During the only dam release in 2013, the state reduced the regularized water discharge by 40% (2700 m³/h) to allocate 3 Mm³ over a period of 45 days.

3.3.2.2 When the water discharge changed, the surface irrigation network was adapted again

The Sidi Okba irrigation community acquired technical and organizational experience on how to progressively integrate new water resources in the surface irrigation network. Figure 14 shows the main changes in irrigation infrastructure that took place during the three main periods of the irrigation system.

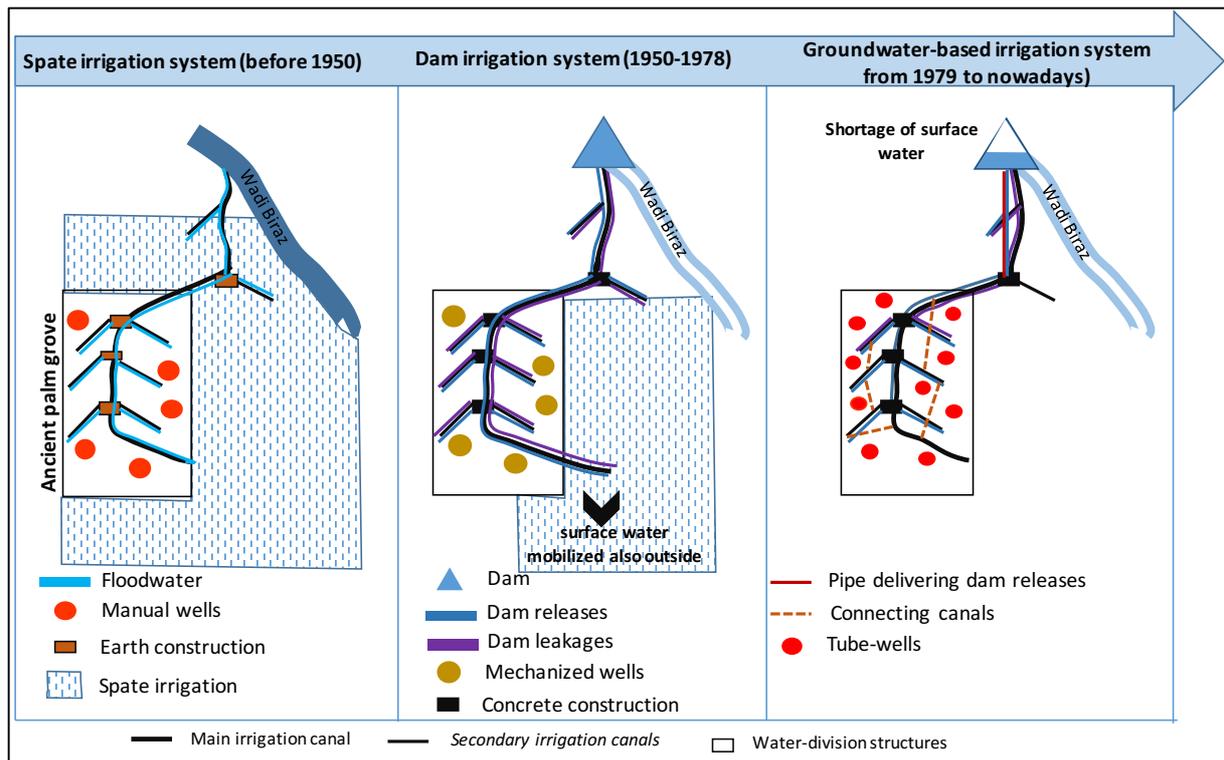


Figure 14. Changes in irrigation infrastructure according to water resources mobilized at different periods

As evidenced by the historical map of 1937, the surface irrigation network of the Sidi Okba palm grove existed long before the dam. It consisted of 12 secondary irrigation canals. At that time, the water rights were not linked to the land, but to the labor contributed and the number of sharecroppers called on to rebuild the diversion weir after each flood. These traditional water rights were dissolved with the dam construction. The administration recalculated and redistributed to the irrigation community of Sidi Okba new water rights, proportional to the number of palm trees. Capital thus replaced labor as the main factor governing water distribution.

During the second period, the existing surface irrigation network was only partly affected as dam releases had more or less the same physical characteristics as floodwater (high discharge available over a relatively short period). Nevertheless, the water-division structures were resized and cemented.

During the third period, the surface irrigation network was adapted at the time of creation of the agricultural cooperative in 1989 to enable a better distribution and utilization of low water discharges in the network. This was necessary to adapt to a new context in which surface water was little available following droughts, and groundwater became the predominant water supply resource. Three types of adaptations were made: i) the construction of two new secondary canals, ii) the connection of existing secondary irrigation canals that were previously hydraulically independent, and iii) the reduction of the size of irrigation ponds around palm trees. Figure 15 illustrates the different hydraulic changes operated on the existing surface irrigation network.

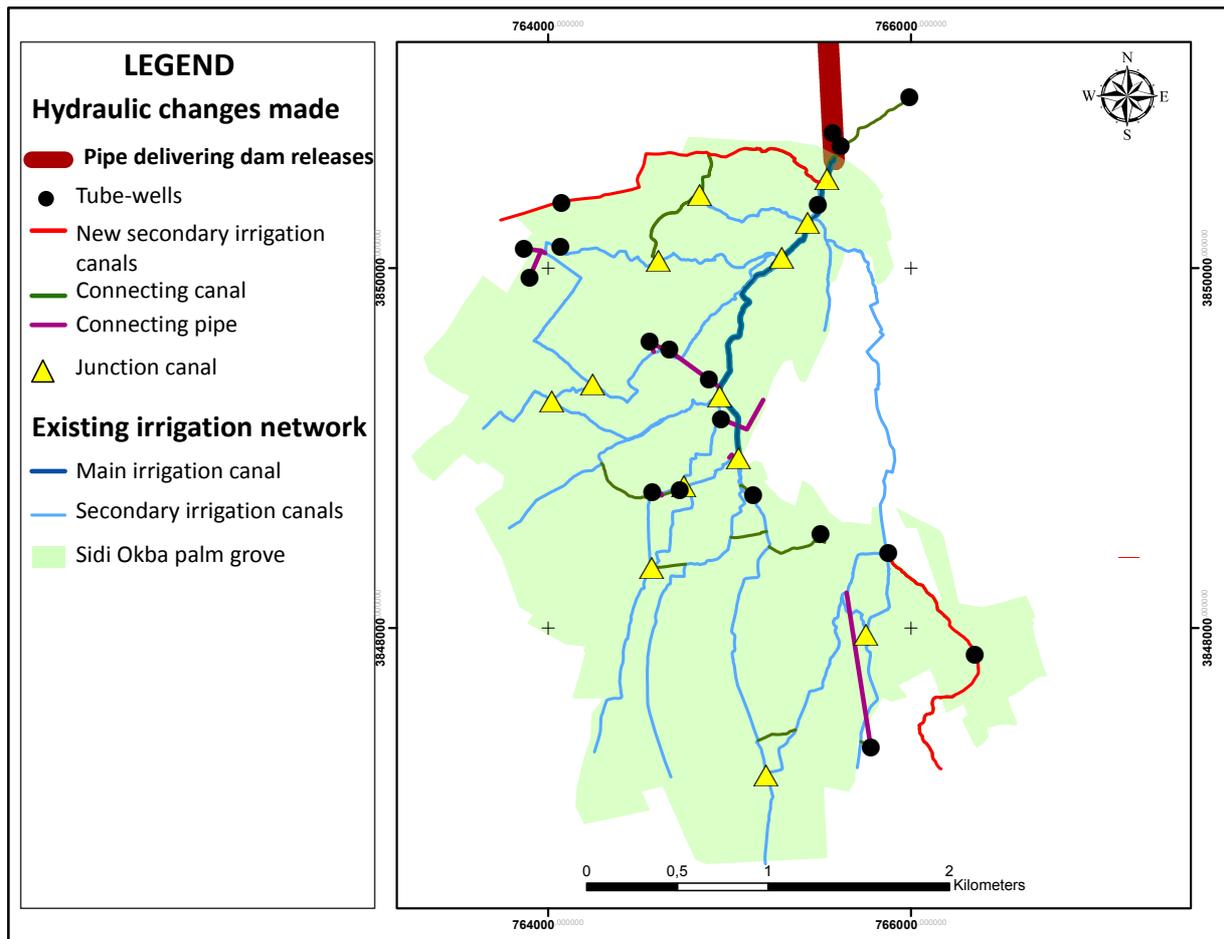


Figure 15. Hydraulic changes made to the existing surface irrigation network

Two new secondary irrigation canals were created to irrigate the 20,000 new palm trees on the periphery of the original palm grove (red lines in fig. 15). The existing 12 secondary irrigation canals and the 2 newly created canals were interconnected (fig. 15). These connections were made either by opening a trench between them, when two or more secondary irrigation canals were close enough (junction between canals; triangle in fig. 15) or by creating small connecting canals when they were located further apart (connecting canal; green line in fig. 15), while taking the topography into account to ensure gravity flow. In some cases, the community introduced a connecting pipe (purple lines in fig. 15) to overcome the constraints of the slope. Technical adjustments made it possible to supply groundwater to the secondary irrigation canals located upstream of the tube-wells. Groundwater is rarely transported in the main canal, which is 3 m wide and is more suitable for the high water discharge of the dam releases (2100 m³/h in 2013). Groundwater is generally transported in secondary irrigation canals (width ≤ 1m), which are more suitable for low discharge, like the dam leakages (60 to 180 m³/h) and groundwater (from a minimum of 30 to a maximum of 110 m³/h per tube-well).

The size of irrigation ponds was also reduced to 2-3 m³. In addition to the high cost of groundwater (1.5 to 2.25 €/h according to Hamamouche et al., 2017a), the dual function of irrigation ponds, i.e. storing water and recharging the phreatic aquifer, was no longer required, as there were no more functioning wells. In addition, tube-wells, which pumped deep

groundwater, played an active role in the qualitative degradation of both the phreatic aquifer and the soil. It was therefore thought necessary to reduce the percolation of water.

3.3.2.3 Shaping new rules for low water discharges

Due to the physical characteristics of dam leakages, and later on of groundwater flow (low discharge over long periods), the water distribution rules for dam releases were not appropriate for managing these new water resources. New distribution rules were drawn up in 1951 to adapt to the low discharge of dam leakages. Then, in 1980s, new rules were introduced to manage the conjunctive use of surface water (dam releases and leakages) and groundwater pumped through tube-wells, whose number gradually increased to reach 19 in 2015. Figure 16 illustrates the different distribution rules of water.

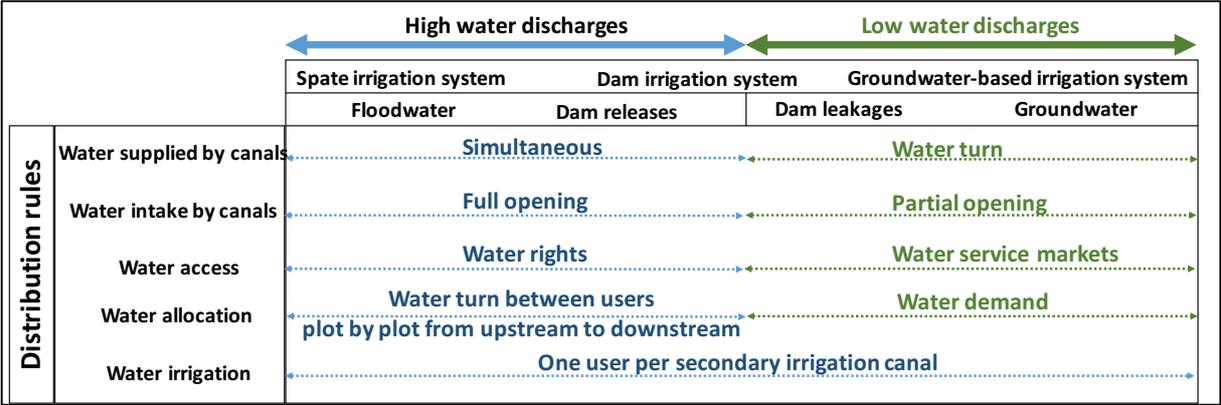


Figure 16. Shaping of the distribution rules for all water resources used

In practical terms, the supply of water to the secondary irrigation canals had to be adapted in 1951. During dam releases, all the secondary irrigation canals were supplied simultaneously and the water intakes were all completely open. For dam leakages, a supply-driven water turn was adopted between the secondary irrigation canals. The duration of this water turn was flexible. The number of secondary irrigation canals supplied and the opening width of their water intakes depended on the discharge of the dam leakage. In drought years (e.g. in the 1980s), only one secondary irrigation canal was supplied at a time. In addition, this water was supplied only for irrigation located upstream in the palm grove. In contrast, in wet years, dam leakages were routed anywhere in the palm grove and the discharge was shared between two or three secondary irrigation canals at a time. The supply-driven water turn was maintained between the 14 secondary irrigation canals of the Sidi Okba palm grove.

Until the 1970s, the beneficiaries of the dam leakages - large garden owners belonging to the noble families - used it to irrigate their palm trees and the surplus was offered for sale through water service markets. At that time, sale was by auction. These water service markets have survived until today. However, some modifications were made by the agricultural cooperative to ensure a water supply to the greatest possible number of users, including the former sharecroppers. The sale of water by auction was abandoned. The price of water was set at 2 €/h to reduce the inequalities of access to water between the large and small garden owners. The agricultural cooperative duplicated the distribution rules designed initially for dam leakage to

groundwater, given the fact that the two water resources share the same physical characteristics (low discharge, availability over long periods).

During periods of dam releases (high water discharges), water is distributed through a contiguous irrigation order: garden-by-garden from upstream to downstream in a secondary irrigation canal. Each garden owner knows the exact order in which he is supposed to receive water. This rule cannot be applied to low discharges. Instead, a water allocation system ‘on demand’ was created using the principle of water service markets, whereby garden owners request water from the agricultural cooperative or informal and private water providers (Hamamouche et al., 2017a). In the case of dam leakages, the on-demand water allocation only takes place in a given secondary irrigation canal that receives water through a water turn depending on the discharge of the leakage in a given year, which in turn depends on climate conditions. In the case of groundwater, water delivery is more flexible, depending on the command area of the tube-well, which can serve up to three secondary canals, and is only limited by the maximum operating hours (20-24 hours per day). Delivery of dam leakage and groundwater for irrigation therefore rarely follows the topographical location of the gardens. The garden owners located on a secondary irrigation canal do not necessarily buy low discharge water at the same period, or in consecutive periods from upstream to downstream. In addition, the irrigation time for a single garden owner is at the buyer's discretion and not necessarily proportional to the number of palm trees as is the case for dam releases. However, what applies to all the different water resources is the rule of exclusiveness: one user at a time receives water from a secondary irrigation canal.

The Sidi Okba irrigation community also shaped new rules to manage conjunctive water use. These new cohabitation rules allow water from multiple origins and discharges to be transported in the same surface irrigation network, and even at the same time under certain conditions. These rules change depending on the availability or not of dam releases. Figures 17 illustrates these new cohabitation rules.

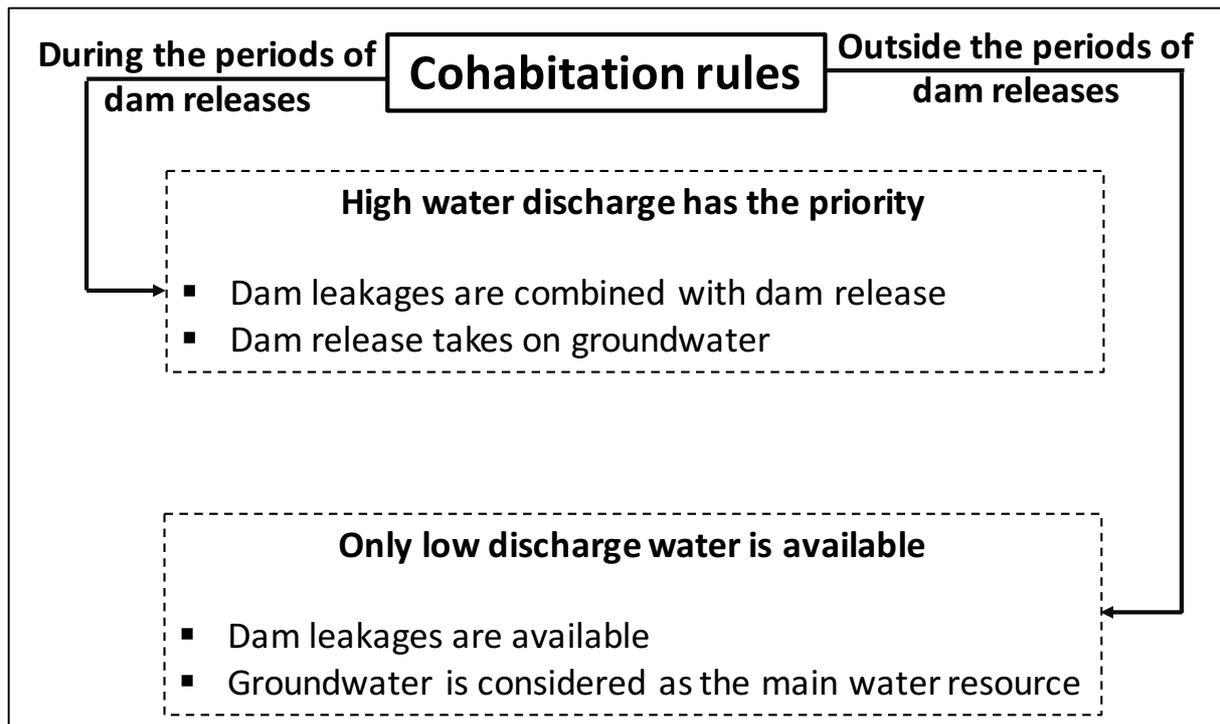


Figure 17. Cohabitation rules during and outside the periods of dam releases

During dam releases, its high discharge takes priority over the much lower discharge of dam leakage and groundwater in the palm grove. First, during this period water leakage cannot be separated from the dam release for two physical reasons: i) they flow in the same main irrigation canal, and ii) all the water intakes of the 14 secondary irrigation canals are completely open. Second, groundwater is less in demand during dam releases, which is much cheaper (0.8 €/h), has a better water quality and arrives at high volumes over a relatively short period. Thus, during dam releases, groundwater is considered as a supplementary resource. In the case groundwater is used, the pumping discharge per tube-well is negligible compared to the high discharge of dam releases. The coexistence of dam water and groundwater is consequently not allowed in the main irrigation canal, because it is difficult for the community to monitor the possible mixing of the water from several tube-wells with water from the dam release. In contrast, such cohabitation is possible in the secondary irrigation canals. The water discharge of the dam release allocated to Sidi Okba palm grove (2100 m³/h in 2013) is divided between the 12 historical secondary irrigation canals with each canal receiving a discharge ranging from 70 to 220 m³/h, according to the established water rights. In these canals, the coexistence of the two resources is only allowed under certain conditions to avoid disturbing the distribution of dam releases. First, the water intake of the garden requiring groundwater must be located on the secondary irrigation canal into which groundwater from the tube-well is injected. Second, the user of the two water resources must be the same person, i.e. the user must combine groundwater with the water right of the dam release during his water turn. The two new secondary irrigation canals are supplied either by the surplus dam water from the other secondary irrigation canals or by the combination of surplus dam water and groundwater. Garden owners who have no right to water from dam releases into these two canals, obtain access to water through the water service markets.

More importantly, the low discharges of dam leakage and pumped groundwater are crucial to irrigate the palm grove outside the periods of dam releases. These two water resources coexist perfectly in the surface irrigation network and are governed by the same distribution rules. Nevertheless, the cohabitation of these water resources requires another set of rules to coordinate the supplies coming from 16 different water providers. Before operating the tube-well, a groundwater provider will check if there is water from other water providers in the secondary canal. If water is already circulating (groundwater or dam leakage), the water provider must horizontally mark the height of water in the canal using a rachis of the palm leaf, before adding water from his tube-well. When again separating the water to irrigate a given plot from the water already running, the water guard again measures the height of the water downstream of the offtake. This method of measurement is traditionally called ‘taguemir’. The measuring instrument is similar to the ‘reed cane’ used in the northwest region of Portugal (Wateau, 2001). However, if the water guard wants to supply a secondary irrigation canal other than that of the first water provider, sharing must be done proportionally at a cemented proportioning water-division structure.

3.4 Discussion

3.4.1 How to integrate groundwater resources in a surface irrigation system

Integrating a new water resource in an existing surface irrigation system is not easy. The elaboration of effective institutional arrangements to develop and schedule the conjunctive management of water resources requires considerable time and flexibility (Schlager, 2007). This is exactly where community-managed irrigation systems excel compared to state managed systems. In Nepal, Lam (1998) showed that irrigation communities are better at handling changes in the physical and social context, in developing rules to govern water distribution, and in the maintenance of the infrastructure. These comments are in agreement with those of Siderius et al. (2015), who based on an empirical study on traditional irrigation tanks in India, concluded that “*decentralized systems with a potential for self-organization are considered to be very adaptable to change and to be less affected by sudden change or failure in parts of the system*”. However, the aptitude of community-managed irrigation systems should not conceal the considerable difficulties that irrigation communities face when integrating alternative resources in their irrigation systems.

First, the shaping of institutions and infrastructure in irrigation systems depends on the physical characteristics of the water resources (Cleaver, 2012). The challenge is all the greater when several water resources are used in the same irrigation system, e.g. surface and groundwater. These water resources may differ considerably in terms of discharge, and in the variability and reliability of flows, but also in terms of water quality (Iglesias and Garrote, 2015). It is consequently important to check if the water resource is characterized by flows and/or storage (Schlager et al., 1994). This changed considerably in Sidi Okba: first when the dam was built and second when exploitation of the confined aquifer began. The first change did not significantly affect the amount of water available to the oases, but did affect the flow (with an alternative high and low discharge resource). The second change increased the flow, because of the increased inter-annual storage buffer represented by the confined aquifer, which led to

an increase in the annual irrigation volume. In these circumstances, the challenge was to i) coordinate the use of 19 tube-wells with a low discharge per tube-well but that were at least in theory exploited almost continuously, and installed at different locations around the palm grove, and ii) ensure the distribution of groundwater at the same time as that of the surface water, when available. The results showed that the changes in institutions and infrastructure were incremental and took place over a long period. The irrigation community took advantage of the accumulated 28 years (from 1951 to 1979) of experience managing the low but continuous discharge of the unintended dam leakages. Leakage of water from the dam has been criticized in several technical and scientific papers (e.g. Toumi and Remini, 2004). However, the knowledge gained from managing dam leakages played a crucial role in the integration of groundwater, as the community had developed solid irrigation institutions to manage low-discharge leakage water under an on-demand system, which had to serve a large number of users. The institutional arrangements crafted in 1989 to manage groundwater were largely inspired by the arrangements made for the distribution of dam leakage. Moreover, some garden owners had acquired experience in managing collective groundwater use in small groups (tube-well associations) between 1979 and 1989, making them comfortable with, for instance, the distribution of water to tube-wells and maintenance. However, the progressive installation of 19 tube-wells throughout the palm grove between 1979 and 2015, prompted the irrigation community to draw up new institutional arrangements to manage the cohabitation of several water resources and to coordinate the conjunctive use of dam releases and groundwater, dam leakages and groundwater and groundwater pumped from 19 tube-wells. In addition, they adapted the existing infrastructure by connecting secondary canals to cater for on-demand distribution of groundwater.

Second, the state intervention based on a simplistic vision of a single water source is comparable to other interventions by authoritarian states with the intention to centralize everything and keep control of local society (Kouzmine, 2012). However, like in many other community-managed irrigation systems, throughout its history, the Sidi Okba irrigation community had also learned to negotiate with the state. Despite the formal nationalization of the irrigation system with the construction of the dam in 1950, the community never entirely abandoned its management. It succeeded in persuading the state at different times to cede the management of new secondary water-supply resources to the community, which the state considered was capable of collectively drawing up new rules that were more suited to the physical and social context. The irrigation community thus managed to develop conjunctive management of dam releases and dam leakages. The irrigation community's ability to adapt to change was a trump card in negotiations with the state in 1989 to obtain control over the distribution of all water resources, including dam releases and groundwater. These negotiations resulted in the creation of a hybrid structure, an agricultural cooperative, in which both the state and the irrigation community were represented. This is in agreement with the analysis of Cleaver (2012), who emphasized that "*institutions relating to community-based natural resource management*" are often both formal/informal, where "*collective action and common understandings were forged through everyday relationship and practices as well as through rules and authoritative roles*".

3.4.2 Planned conjunctive use does not necessarily ensure the sustainability of irrigation systems

There has been an interesting debate over the conjunctive use of surface water and groundwater as an alternative for optimal use of available water resources in semi-arid regions (e.g. Evans, 2010; Fisher et al., 1995). Several potential advantages have been identified: i) effective response to the scarcity of surface water (Dongyuan et al., 2010); ii) adaptation to climate variability (Li et al., 2016), related to the fact that groundwater can play the role of a buffer in difficult climatic years when little or no surface water is available (Pavelic et al., 2012); iii) ‘losses’ from surface water irrigation recharge phreatic aquifers, which in turn can be used by farmers, thus increasing irrigation efficiency (Foster and Chilton, 2003) or overall water use efficiency, iv) in the case of different water salinities, the smart mixing of different waters can mitigate the negative effect of saline water on crop production (Naresh et al., 1993) and v) conjunctive use provides flexibility, especially since the groundwater resource is ‘on tap’ and can thus increase water productivity (Pulido-Velazquez et al., 2006). However, in many surface irrigation systems, groundwater use has resulted in degradation of water quality, aquifer depletion and concomitant inequalities, for instance when the shallow low-cost irrigation wells ran dry (Foster and Van Steenberg, 2011). This is partly related to the fact that conjunctive use is “*essentially spontaneous (unplanned, unregulated and unmanaged*” (*ibid.*) or, in our case, ignored during state interventions. The case study showed how the irrigation community, in combination with the state, progressively developed new rules and adapted the irrigation infrastructure to plan, regulate and manage the conjunctive use of multiple water resources. Some of these resources appeared unplanned, such as the dam leakage or the individual tube-wells that were operated through water service markets to serve large numbers of water users, while others were planned (e.g. the state tube-wells). Even in the latter case, the management of this water resource, in conjunction with the other resources, was reinvented by the irrigation community. However, even planned, regulated and managed conjunctive use does not necessarily include the sustainability of the irrigation system as an explicit objective. The table below summarizes the consequences of the conjunctive use of different water resources in the three periods of the Sidi Okba irrigation system for the groundwater resource.

Table 3. Characteristics and consequences of the conjunctive use of water resources

Water resources	Three major periods in the history of the Sidi Okba irrigation system		
	1. Spate irrigation system	2. Dam irrigation system	3. Groundwater-based irrigation system
Predominant water resource	Floodwater	Dam releases	Groundwater: confined aquifer
Secondary water resources	Groundwater: phreatic aquifer	Groundwater: phreatic aquifer Dam leakages	Dam leakages Dam releases Groundwater: phreatic aquifer
Actors	Irrigation community	State	Hybrid: state + irrigation community
Hydraulic connectivity	Fresh floodwater recharges phreatic aquifer by percolation	Fresh surface water recharges phreatic aquifer by percolation	Saline irrigation water pumped from confined aquifer recharges phreatic aquifer by percolation
Groundwater extracted	Phreatic aquifer (manual wells)	Phreatic aquifer (mechanized wells)	Confined and to a lesser extent phreatic aquifers
Groundwater level	Near the surface of the ground	Decline of phreatic aquifer	Continuous decline of the intensely exploited confined aquifer; risk of rising water table in the phreatic aquifer
Groundwater quality	Good quality	Good quality	Deterioration of the water quality in the phreatic aquifer
Soil quality	Good quality	Good quality	Salinization of soils downstream of the palm grove

In Sidi Okba, the state ambition to develop a modern and simple irrigation system that depended on a single water resource - first on dam water releases in 1950 and then on groundwater since 1979 - had environmental consequences (table 3). These consequences include the decline in the water tables of the phreatic and confined aquifers, the degradation of the water quality of the phreatic aquifer, and the appearance of soil salinity downstream of the palm grove. The complementarity of surface water and groundwater of the recharged phreatic aquifer was first ignored when the waters of Wadi El Abiod were harnessed by the construction of the Fom El Gherza dam and the cementing of part of the main irrigation canal that delivered the dam releases. The state had not considered the irrigation system as a conjunctive use system, thereby disturbing its functioning in the medium term (table 3). The second disruptive factor was the emergence of private exploitation of groundwater after 1950, leading to more water being abstracted from the phreatic aquifer than its natural recharge, and resulting in a gradual drop in the phreatic water table. The third disruptive factor was the introduction of, and the dependence on, deep groundwater in the confined aquifer (table 3). Those who used groundwater in Sidi Okba were aware of the harmful consequences of the use of deep groundwater for the phreatic aquifer, and changed certain irrigation practices to reduce the percolation of water, and adapted their tube-wells to avoid taking saline water from the phreatic aquifer.

However, there was no response at the level of the irrigation system to face the longer-term undesirable effects of intensive resource use (Llamas and Custodio, 2003). Therefore, the sustainability of the system is called into question in a context where the state is primarily concerned with short-term agricultural and economic development, and where the irrigation

community has to cope with a successive series of water crises and looks for alternative water resources. Within the larger framework of ambitious policies to promote agriculture in the Sahara, the state unlocked the access to deep groundwater of the confined aquifer in Sidi Okba to first alleviate the water shortage due to droughts and second to promote agricultural development (Hamamouche et al., 2015). Thus, groundwater, which was previously a secondary source of water except for the traditional irrigation systems of *foggaras*, spring and artesian wells, became at the end of the 20th century, the main water resource used for the development of irrigation in Algeria - 88% of the irrigated area - through hundreds of thousands of wells and tube-wells (Kuper et al., 2016). In the Algerian Sahara, the little-renewable groundwater resource was also integrated in most community irrigation systems to compensate for the deficit of the main water resources traditionally used (Bisson, 1992; MRE, 2009). However, there is no socio-technical study on the conjunctive water use to compare our case study with other traditional oasis irrigation systems. This shows the need to extend such studies on other community irrigation systems to reflect on conjunctive management solutions. This is all the more relevant as these systems are confronted with environmental vulnerabilities, caused by the intensive exploitation of little-renewable groundwater resources both inside and outside the ancient palm groves.

The vulnerabilities caused by the intensive exploitation of groundwater must, therefore, be addressed at a larger scale, at the level of the irrigation system, or even that of groundwater basins, and involve both the state and the irrigation communities (Schlager, 2007). We argue that a first step towards solving this problem is recognizing the complexity and conjunctive use of many irrigation systems (multiple water resources / multiple demands), taking into consideration the hydrological cycle, the hydraulic connectivity between surface water and groundwater, and the larger ecosystem and livelihoods in the medium and long term. In parallel with agricultural development in the Sahara, the question of the long-term sustainability of irrigated agriculture and the water resources on which it is based needs to be addressed.

3.5 Conclusion: building on the legacy of the capacities of local irrigation communities

The history of the community managed Sidi Okba irrigation system has been eventful, especially following state interventions, first with the construction of the dam in 1950 and second, by unlocking access to little-renewable groundwater in 1979. In the second half of the 20th century, the state view of a system based on a single source of irrigation water gradually had harmful consequences for the water resources. This was also the case of many other irrigation schemes in semi-arid and arid regions, for example in the Mediterranean region (Leduc et al., 2017). Ways to improve the sustainability of irrigated agriculture and of its water resources may be found in community practices and knowledge (Cleaver, 2012), as “*traditional knowledge is a dynamic system able to incorporate innovation subjected to the test of the long term and thus achieves local and environmental sustainability*” (Laureano, 2007). However, rather than going back to traditional irrigation practices that may no longer be appropriate in the current situation, we argue that it is possible to build on the legacy of innovation, adaptation and negotiation capacities of irrigation communities to reorient the irrigation system towards more sustainable pathways. The Sidi Okba irrigation community has demonstrated its adaptive capacity to integrate new water resources in its surface irrigation system and to change irrigation

practices. However, the boundaries of the irrigation system have changed with the incorporation of groundwater pumped from confined aquifers, which means that the water resources cannot only be managed locally. Here, the long-standing capacity of the irrigation community to negotiate with the state may be useful to link local and more regional water-related issues in the design of more sustainable development of irrigation. For example, by reducing the irrigation volume or integrating new non-conventional water resources such as recycled wastewater to attenuate the pressure on little-renewable groundwater resources. During the course of its hydraulic history, the community has learned from its ability to integrate and manage conjunctive use of multiple water resources in its irrigation system. This ability to adapt to political, environmental, and other kinds of change, will be decisive in safeguarding the existing irrigation system and in ensuring the sustainability of natural resources in the hostile environment of the Sahara.

Chapitre 4

Emergence et chevauchement des marchés de l'eau souterraine dans une palmeraie au Sahara algérien

Ce chapitre a été publié sous forme d'article dans la revue Irrigation and Drainage :
Hamamouche, M.F., Kuper, M., Hartani, T., Bouarfa, S., 2017. Overlapping groundwater
service markets in a palm grove in the Algerian Sahara. Irrigation and Drainage.
doi:10.1002/ird.2178.

Chapitre 4. Emergence et chevauchement des marchés de service de l'eau souterraine dans une palmeraie au Sahara algérien

Ce chapitre interroge le développement de plusieurs marchés de service de l'eau souterraine à l'intérieur de l'ancienne palmeraie de Sidi Okba afin de garantir un accès généralisé à l'eau au plus grand nombre d'irrigants. Ces marchés sont historiquement construits et présentent des arènes de relations complexes et souvent antagonistes, particulièrement entre les vendeurs d'eau (propriétaires des forages) et les acheteurs et entre l'État et la communauté d'irrigants en ce qui concerne la concession et gestion des forages subventionnés. Ces relations déterminent à leur tour quels agriculteurs ont accès à l'eau souterraine et comment. Dans ce chapitre nous analysons comment les jeux de pouvoir entre les différents groupes socio-ethniques et les interventions de l'État à travers des subventions de forages ont façonné les différents marchés formels et informels de service d'eau souterraine impliquant de multiples fournisseurs d'eau et acheteurs qui coexistent dans un même espace irrigué. Cela implique une analyse spatio-temporelle de l'émergence et du fonctionnement des marchés.

Les résultats de ce chapitre montrent que l'émergence chronologique de quatre groupes de fournisseurs d'eau souterraine, et donc de quatre marchés formels et informels de service d'eau souterraine- souvent se chevauchant – coïncide avec les interventions étatiques (subventions agricoles, notamment). Ces marchés ont été façonnés progressivement par des antagonismes socio-ethniques entre les descendants des anciens nobles (*asliîn*) et ceux des anciens métayers (*khammès*), des subventions de forages et des rivalités entre vendeurs d'eau cherchant à se positionner sur ces marchés devenus lucratifs. Ce chapitre conclut que les jeux de pouvoir et le désir de chaque groupe socio-ethnique d'avoir son propre accès à l'eau souterraine et de ne pas dépendre d'un autre groupe, ont finalement empêché l'émergence d'un monopole de service d'eau, et contrecarrer ainsi le contrôle possible de l'accès à l'eau souterraine par un seul groupe socio-ethnique ou économique. De cause à effet, l'absence de monopole dans l'approvisionnement en eau souterraine a progressivement entraîné une concurrence économique entre les quatre groupes de fournisseurs d'eau souterraine, ce qui a conduit certains fournisseurs d'eau souterraine à concevoir des stratégies de vente, en particulier autour de la qualité du service de l'eau. L'analyse diachronique des marchés de service de l'eau souterraine a dévoilé la capacité de la communauté d'irrigants pour mobiliser différents registres pour assurer un accès généralisé à l'eau souterraine : faire appel à l'État, tout en négociant une gestion communautaire des eaux souterraines ; introduire des logiques économiques dans la gestion de l'eau, tout en maintenant des ambitions sociales ; conjuguer des pratiques traditionnelles et modernes. Ces nouvelles hybridités qui caractérisent désormais les espaces irrigués de Sidi Okba seront analysées dans le chapitre 5.

4.1 Introduction

In arid and semi-arid regions, during the second half of the 20th century, irrigated agriculture became increasingly dependent on groundwater (Bouarfa and Kuper, 2012; Shah et al., 2006). Groundwater is often believed to only be exploited by farmers through individual private wells and tube-wells (Margat and Van der Gun, 2013) as farmers sought to become independent from ‘state’ or ‘community’ controlled access to water (Kuper et al., 2009). Yet, in many cases, collective organisations developed around the exploitation of groundwater at the initiative of the state or of the farming communities themselves (Frija et al., 2016; Rica et al., 2012; Schlager, 2007). In some cases, formal and informal institutions were also set up to manage groundwater (Llamas and Custodio, 2002). However, most institutions emerged to overcome the difficulties linked to the access and distribution of groundwater (Dubash, 2002; Zhang et al., 2008). These institutions generally come into being when the actors are faced with the same environmental constraints (scarcity of surface water and a decline in water tables), economic problems (cost of an individual tube-well, small size of farms, and profitability of crops), or social constraints (marginalization of farmers) (Shah, 1993).

Groundwater institutions take different forms depending on the physical, socio-economic and political situation (Schlager, 2007). For example, in South Asia, the most common institution is informal ‘groundwater markets’, which are extensively documented in the literature (e.g. Dubash, 2002; Mukherji, 2007; Shah, 1985). In the early literature on informal water markets, most researchers were enthusiastic about the key role played by these institutions in enhancing access to water by small-scale and marginal farmers, and about their positive impacts on equity, efficiency and productivity (Fujita, 2004; Meinzen-Dick, 1998; Shah and Ballabh, 1997). Easter et al. (1999) stated that “*water markets—either formal or informal—can be an efficient method for reallocating scarce water supplies*”. For example, in Bangladesh, it was thought that private investment in providing groundwater service markets to farmers had generated “*immense benefits*” and in many ways “*such phenomena are far more important institutions for human welfare than ‘community irrigation’*” or other “*examples of collective action widely canvassed in the development literature*” (Palmer - Jones, 2001).

On the other hand, there were also a few critical studies of informal water markets. For instance, certain researchers expressed doubts about the equity supposedly produced by water markets given the emergence of ‘water lords’, i.e. rich irrigators who were able to monopolize access to groundwater (Adnan, 1999; Janakarajan, 1994). This one-sided view of water lords exerting absolute power over water buyers was, however, contested by (Mukherji, 2004), who called for a better understanding of “*the relative power of water sellers and water buyers*”. More generally, Mukherji (*ibid.*) highlighted some methodological limitations of the majority of studies on water markets whether enthusiastic or critical of such institutions, in particular the fact that the social relations in which water service markets were embedded were overlooked, and “*the role of power in shaping water markets has been completely ignored*”. Most studies were limited to analysing the nature and way of functioning of water markets “*often to the level of rhetoric*” (Prakash, 2005). To overcome these limitations, these authors advocated using a historical perspective in research on groundwater markets, as few studies grasped the “*nuances of unequal social relationships and natural and historical functions that shape and determine*

groundwater access and use” (*ibid.*). The question is, then, how socio-ethnic and socio-economic antagonisms shape and determine access to and use of groundwater to a diversity of farmers.

This paper analyses the emergence and functioning of groundwater service markets from a historical perspective to advance our understanding of the role of social power games in shaping these institutions. Through an empirical analysis, we show how state interventions and social power games shaped the different formal and informal groundwater markets involving multiple groundwater buyers and providers, which coexist in the same irrigated area. The case study was conducted in the ancient palm grove of Sidi Okba in the Algerian Sahara, where over a period of more than 50 years, different institutional arrangements of water allocation and distribution, including water service markets, emerged at different periods and around different water resources (surface water and groundwater). In this article, we focus on the institutional arrangements for the access to and use of groundwater. Several formal and informal groundwater service markets emerged in the last four decades in Sidi Okba, often with the help of the state, in order to provide different socio-ethnic groups of garden owners access to groundwater. The co-existence of four groups of groundwater providers in the same irrigated system generated its own dynamics, further shaping groundwater service markets by creating competition for the water supply, resulting in rivalries in groundwater sales and the development of strategies by groups of groundwater providers who had discovered the economic interest of this activity. This case study is, therefore, particularly illustrative of the complex socio-ethnic and economic contexts with multiple power games in which water service markets emerge.

4.2 Methodology

4.2.1 Study area

The study was conducted in the Sidi Okba palm grove (733 ha), close to the city of Biskra near the southern foothills of the Aures Mountains in the Algerian Sahara (figure 18).

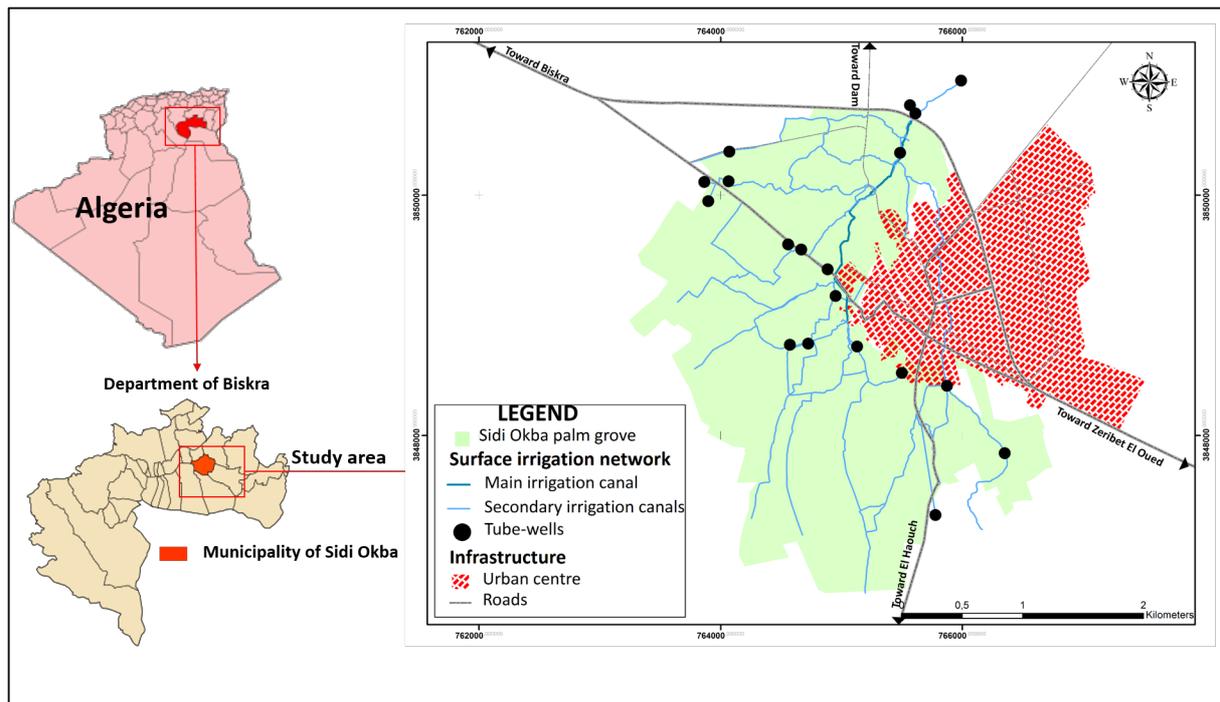


Figure 18. The study area

The centuries-old irrigation system in the Sidi Okba palm grove is a complex hybrid system with several layers. Before 1950, the palm grove was irrigated by a community-managed spate irrigation system, completed by private shallow wells. The distribution of irrigation water was based on proportional water rights according to the physical effort provided by the lineage to divert water from Wadi Biraz (name of the non-perennial stream upstream of the gorge of Foum El Gherza). However, this system was profoundly disturbed in 1950 when the Foum El Gherza dam was built by the state on Wadi El Abiod (name of the same stream downstream of the gorge), which was intended to supply the palm grove and nearby land used for annual crops up to six times a year. Water rights were then distributed proportionally to the number of palm trees per garden. After the dam came into service, a new and unexpected water resource emerged: dam leakages of about 180-480 m³/h (Hamamouche et al., 2017b). This resource was integrated into the surface irrigation systems of the four palm groves (Seriana, Gharta, T’Houda et Sidi Okba). However, the physical characteristics of this resource (low water discharges at continuous flow) were very different from the high discharge rates during the limited periods provided by the dam, and very different from the previous spate irrigation. As a result, the irrigation community in Sidi Okba created new institutions to better manage these water leakages, mainly through water service markets. Then, in the late 1970s, the state introduced deep tube-wells to irrigate the palm grove and to mitigate water scarcity, followed by several subsidised and private collective or individual tube-wells. Today, the palm grove is irrigated by several water resources, all water being distributed through the existing surface irrigation system.

Broadly speaking, the Sidi Okba palm grove is dominated by two socio-ethnic groups: 1) noble families who enjoy a higher status within the oasis community, and who own large gardens inside the palm grove. Their gardens are mainly located in the upstream and centre parts of the palm grove) descendants of former sharecroppers who, since the 1960s, have gradually acquired

access to land, palm trees and water (first surface water then groundwater). This socio-ethnic group own small gardens scattered throughout the palm grove (Hamamouche et al., 2015).

4.2.2 Research approach

To analyse the way state interventions and power games shaped groundwater markets in Sidi Okba, we sought inspiration in some of the works on groundwater markets in South Asia (Mukherji, 2004; Prakash, 2005; Shah, 1993). In these works, the term ‘groundwater market’ was used “*to describe a localized, village level institutional set-up through which owners of modern water extraction mechanisms supply water to other members of the community at a price*” (Shah, 1993). However, many researchers contested the use of this term, because the pumped water is not a private property and the owners of the tube-wells rather sell the services of their pump (Saleth, 1994). Hence, (Shah and Ballabh, 1997) proposed the term of ‘pump irrigation service markets’ defined as “*an informal arrangement through which owners of wells and pumpsets sell irrigation services to other farmers for a consideration*”.

We analysed the emergence and dynamics of ‘groundwater services markets’ in the Sidi Okba palm grove over the last four decades, through three main components: the resource base, the actors involved (owners of tube-wells and water buyers), and the institutional arrangements (formal and informal groundwater service markets).

We first studied how different surface and groundwater resources were progressively integrated into the irrigation system through different formal and informal institutional arrangements. The entire irrigation infrastructure, including tube-wells and the surface irrigation network, and the distribution of irrigation water were then characterised. The discharge of all the water resources (dam releases, dam leakages and groundwater) was measured using micro-reel and flow meters. Next, we analysed the interactions between different water sellers and water buyers, their relations with the state, and the institutional arrangements governing the groundwater service markets, through field observations and 50 semi-structured interviews with local actors (water users and groundwater providers). The interviews focused on the management of groundwater providers and their status, the history of their services, state interventions, and on the coexistence of different groundwater service markets in the same irrigated area. After which, a second series of interviews was conducted with all different groundwater providers this time focused on the operation of tube-wells (command area, groundwater pricing, electrical connection and consumption in kW, costs of groundwater pumping), and operations and the sales strategies used by different groundwater providers. Interviews were also conducted with representatives of state administrations (the manager of the dam, water agency staff, and staff of the electric distribution agency). These interviews enabled us to access official documents such as electricity bills for the tube-wells and reports on studies carried out in our study area.

4.3 Results

In this section, we will first show that the chronological emergence of the different groups of groundwater providers coincides with the agricultural subsidies granted by the state. Underlying their emergence are the social power struggles with the persistent ambition of countering the possible control of groundwater access by a single socio-ethnic group. We will

then analyse the nature of the groundwater service markets by showing that their functioning depends on the social logic of groundwater providers, but also – increasingly – on their economic interests. Finally, we will show that the absence of a monopoly in groundwater supply gradually resulted in economic competition between groundwater providers, which in turn led some groundwater providers to design sales strategies around the price of groundwater and the quality of service.

4.3.1 The underlying power games of extending the resource base by different groups of groundwater providers

Dam water releases and the water leakages from the dam, which depend on the water stored in the reservoir, have notably decreased over the last four decades due to droughts and the reduced capacity of the reservoir. From the end of the 1970s onwards, groundwater thus progressively became the main water resource proposed by different water providers. The multi-layered structure of the groundwater service markets is the result of the combination of state interventions through regulation and agricultural subsidies and the socio-economic ambitions of the different socio-ethnic groups present in the palm grove.

4.3.1.1 The chronological emergence of the different groups of groundwater providers

The sequence of the emergence of the different groups of groundwater providers was most often linked to the state interventions, as the state was able to mobilise financial resources and technical expertise to tap into new water resources (fig. 19). However, the local community played an active role in mobilising the different state agencies or political bodies. The emergence of different groups of groundwater providers thus revealed on-going power games in the access to irrigation water.

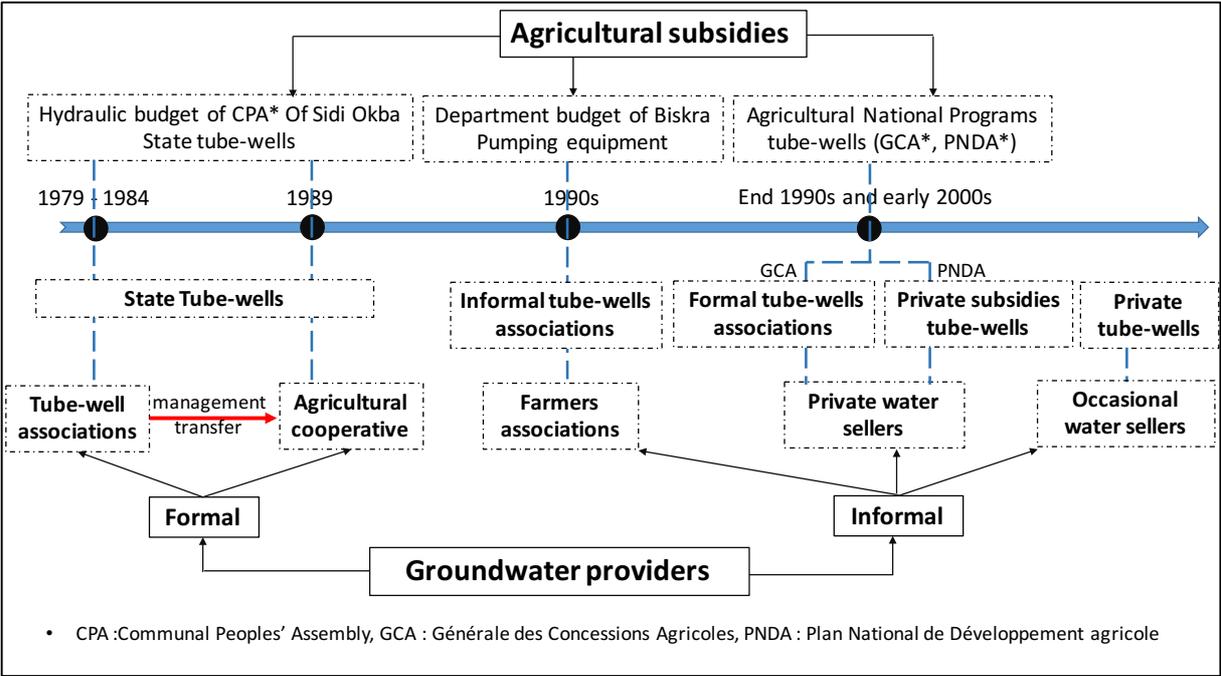


Figure 19. Relationship between state interventions and the emergence of different groups of groundwater providers

State tube-wells conceded to an agricultural cooperative

To mitigate the surface water crisis in the 1970s, the Communal Peoples' Assembly (CPA) of Sidi Okba provided a budget to drill five large tube-wells (to depths ranging from 275 to 807 m) between 1979 and 1984. The tube-wells were equipped with submerged pumps to tap the confined Mio-Pliocene aquifer. The tube-wells were distributed throughout the surface irrigation system of the palm grove, one in the upstream part, one in the central part, and three in the downstream part, with the aim of covering as much irrigated area as possible. Groundwater is pumped and then transported through the existing surface irrigation network. The management of these five state tube-wells was granted to groups of 10 to 15 garden owners grouped in formal tube-well associations, as they are called locally in Arabic. The majority of the beneficiaries of the state tube-wells were owners of small gardens (former sharecroppers), as the wells were drilled during the period of political transition after the socialist era when marginalized small-scale farmers were strongly supported by the state.

However, the transfer of the management of tube-wells led to intra-community conflicts between the beneficiaries - the former sharecroppers - and the non-beneficiaries - the large garden owners and local notables - of the state tube-wells. Groundwater was available only to certain small garden owners, whereas the irrigation community of the palm grove comprised 4,000 water users, owners of small and large gardens. To solve this conflict, the state and the irrigation community began negotiations to find a compromise that would be acceptable to the different socio-ethnic groups. These negotiations resulted in the creation of an agricultural cooperative in 1989. This hybrid management structure involved the irrigation community through the active membership of the two socio-ethnic groups as well as the state, since the cooperative was directly under the authority of the Ministry of Agriculture. The agricultural cooperative was made responsible for the management of the distribution of surface water (dam releases and dam leakages), which was previously state-operated, and for the maintenance of main irrigation canal. The secondary irrigation canals were considered by the state to be the property of the water users and water distribution and maintenance were, therefore, not under the responsibility of the cooperative. The agricultural cooperative was also made responsible for the management of four out of the five state tube-wells. After convincing their respective presidents to join the agricultural cooperative as tube well water guards, with a salary and all the benefits connected with the public service, four of the tube-well associations were dissolved. The fifth state tube-well remained independent of the others, as its president systematically refused to join the agricultural cooperative despite several attempts using social and legal pressure. The president informally appropriated this tube-well and became a private water seller. The community explained the president's behaviour by the fact that he was not promoted to be the head of the agricultural cooperative, even though he was also a main water guard of dam releases. Almost four decades later, the irrigation community had still not forgotten this long-lived conflict. At the time we conducted our field study, the president of the fifth state tube-well had accumulated unpaid electricity bills and was under scrutiny by the administration. He had even been imprisoned on other charges. Nevertheless, the water users did not count on this tube-well, which was well known for its unpredictable and erratic functioning.

Informal farmers associations

A few years after the creation of the agricultural cooperative, some large garden owners decided to drill collective tube-wells to be managed by informal farmers associations. They considered the agricultural cooperative tube-wells could not cover all their palm trees' water requirements, and did not allow them access to irrigation water at the time they needed it and in the quantity desired. In addition, these large garden owners wanted to control their own water resource by developing a 'club good', outside the sphere of the agricultural cooperative. These associations recall the Indian 'tube-well companies' described by (Shah and Bhattacharya, 1993). Three farmers associations were created between 1992 and 1998, each with 33 to 62 rights-holders per tube-well. Access to groundwater via these tube-wells was based on the financial contribution of each shareholder. Given the high cost of the submerged pump and of the generator at that time, the group of garden owners called on the administrative department of Biskra to finance the equipment of these collective tube-wells. After the collective tube-wells were completed, informal water service markets developed for non-rights-holders outside peak periods, who pay a slightly higher price (2.25 €/h) than the shareholders (2 €/h). In India, (Shah, 1993) called this situation "*seasonal groundwater markets*".

State subsidies of collective and private tube-wells: a way for small garden owners to gain access to groundwater

While the large garden owners solved their problem of access to groundwater in the 1990s, small garden owners did not have financial means to invest collectively in tube-wells and thus create informal farmers associations. Their access to groundwater through the formal (agricultural cooperative) and informal (farmers associations) groundwater service markets was insufficient in some parts of the palm grove and resulted in inequities in access to water. They had to wait a decade before they could correct these inequities. Some seized the opportunities offered by the state at the end of the 1990s to kick-start agricultural development through two major agricultural programmes: the General Agricultural Concessions (GCA) in 1997 and the National Agricultural Development Programme (PNDA) in 2001. In this framework, collective (GCA) and individual (PNDA) tube-wells were subsidised. The collective tube-wells were placed in sectors where state agents had previously identified water supply problems. The official beneficiaries of these tube-wells were those whose gardens were located in the command areas of the tube-wells. All of these collective tube-wells were informally privatised by their presidents. The main reason given to justify privatisation was incomplete subsidies: "*we were allocated a tube-well with no pumping equipment*" (a beneficiary). The exploitation of these tube-wells required further collective investment by their beneficiaries, who refused, and preferred to withdraw from the association. After having equipped the tube-wells, their respective presidents turned them into commercial tube-wells. This was partly inspired by the example of the fifth state tube-well, which had previously been privatized informally by its president, who engaged in water service markets. The second attempt by the state to create formal tube-well associations thus also failed.

As regards the private tube-wells granted under the PNDA program, the beneficiaries were selected based on the submission of a grant file. Only two small farmers obtained this subsidy due to the complicated criteria required by the state, including a minimum distance to existing

tube-wells (700 m) and the size of the farm. While the large landowners mainly used these individual subsidies to extend agriculture outside the traditional palm grove (see (Hamamouche et al., 2015), these two small garden owners obtained subsidies to install tube-wells inside the palm grove with the intention of selling water. A new group of five private water sellers thus emerged, supplying water mainly to small garden owners through informal groundwater service markets. These tube-wells had all been subsidized by the state, three under the GCA collective tube-well program and two under the PNDA individual tube-well program.

Private tube-wells

Finally, between 2000 and 2015, some large garden owners invested in individual tube-wells, which were no longer subsidised, their aim was to become independent of groundwater providers and their power games. Some occasionally offer water for sale to their neighbours. The local name given to this group of groundwater providers is ‘occasional water sellers’. We identified six occasional water sellers, each of whom had an individual tube-well.

The chronology of state interventions and local initiatives between 1979 and 2015 gave rise to four parallel groups of groundwater providers in the irrigation system of Sidi Okba palm grove: 1) the agricultural cooperative managing four large-scale tube-wells, 2) three farmers associations, each managing one tube-well, 3) six private water sellers each managing one tube-well, and 4) six occasional water sellers each having one tube-well.

4.3.1.2 The overlapping and juxtaposition of the command areas of different groundwater service markets

Figure 20 shows the command areas covered by each group of groundwater providers. These groups emerged in the chronology described in the previous section. The partial overlapping and the juxtaposition of the command areas can be explained originally by the underlying power games in the irrigation community in close interaction with the state, but obeys increasingly to an economic logic of private water sellers reaching out to clients.

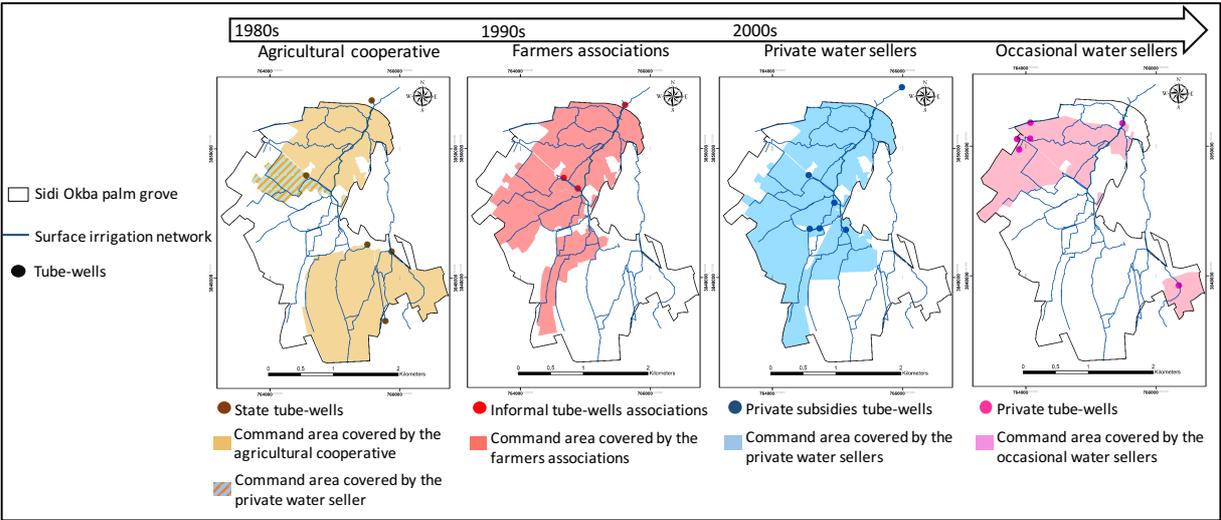


Figure 20. The overlapping and juxtaposition of the command areas of the different groups of groundwater providers

The command area of the four state tube-wells managed by the agricultural cooperative (fig. 20) represented the starting point and the reference on which future groundwater providers based the choice of the location of their tube-wells. The large garden owners, organised in farmers associations, installed three collective tube-wells near two state tube-wells, one managed by the agricultural cooperative and the other by a private water seller in the upstream and central parts of the palm grove. The collective tube-wells belonging to the farmers associations cover 47% of the palm grove. The choice of the location of the tube-wells was purely strategic: i) to extend the command area not covered by the tube-wells of the agricultural cooperative, and ii) to add one more resource to the command area already covered by the state tube-wells. Three reasons were given to justify strategy 2. First, the state tube-well managed by the cooperative in the upstream part had a low water discharge (19 m³/h) and alone, could not cover the irrigation needs in the upstream part of the palm grove. Second, the private water seller who informally appropriated the fifth state tube-well in the central part of the palm grove bore a personal grudge against the members of the agricultural cooperative and access to his tube-well turned out to be difficult. Third, most shareholders of the farmers associations wanted to gain control over an alternative water resource to water their gardens in the upstream and central parts of the palm grove.

The small garden owners had difficulty obtaining access to groundwater, particularly in the central part of the palm grove. They were at the mercy of the large garden owners for any water they required in addition to the water they received from the agricultural cooperative, which was either insufficient or not available when they needed it. They consequently installed four tube-wells in the central part of the palm grove and one in the upstream part. The command area of these tube-wells generally overlapped the command areas of collective tube-wells of the large garden owners. In this way, they prevented the farmers associations from obtaining the monopoly in the supply of groundwater in these two parts of the palm grove. However, these private water sellers also had the ambition to cover the maximum command area to be able to serve a large number of clients. They now cover more than 59% of the palm grove.

Finally, some large garden owners who were not shareholders of farmers associations and were not members of the agricultural cooperative decided to invest in private individual tube-wells in their respective gardens. These tube-wells cover the smallest area irrigated (28% of the palm grove), as their choice of location was based on the location of their own gardens. They sell water only occasionally and only to farmers located along the 'way', that is, on the secondary canal they use to irrigate their own gardens. The command areas of these tube-wells are mostly juxtaposed with the command area of other water providers, but partly overlap the command area of the agricultural cooperative.

4.3.2 The nature of the different groundwater service markets

The way in which the different groundwater service markets function varies with the group of groundwater providers, their economic interests and social logic (table 4).

Table 4. Properties of groundwater irrigation

Groups of groundwater providers	Number of tube-wells	Types of groundwater service markets	Net irrigation surplus		Water sales surplus	Approximate number of gardens irrigated		Likely trend in income gain
			Tube-well owners	Water buyers		Tube-well owners	Water buyers	
Agricultural cooperative	4	Permanent		++++ +	+++++		1,330	Minimum gains
3 Farmers associations	4	Irregular	+++	++	++	170	290	Moderate gains
6 Private water sellers	6	Permanent		++++	+++++	10	1,440	Maximum gains
6 Occasional water sellers	6	Irregular	+++	++	++	170	30	Moderate gains

This table was inspired by the work of Shah (1993): from the smallest (+) to the largest (+++++).

Two main types of groundwater service markets were identified in the irrigation system of the Sidi Okba palm grove. Two ‘permanent’ groundwater service markets concern the agricultural cooperative and the private water sellers. In both cases most of the pumped water is sold to water buyers, as each provider has more than 1,000 customers (table 4). However, the two management structures can be distinguished by their strategic interests. The agricultural cooperative must provide water to the highest possible number of water users for social and community reasons. In theory, all 4,000 garden owners have the right to buy groundwater, but half cannot be served even physically as they are located upstream of the tube-wells. To be able to serve all water users regardless of their socio-ethnic affiliation, the cooperative established a supply-driven water turn between three secondary irrigation canals for each state tube-well. Groundwater pumped by each tube-well flows into a secondary irrigation canal for a period of 30 days (720 hours). During this period, a groundwater service market is open for garden owners who have a water intake from this canal. Once the quota of 720 hours is reached, the agricultural cooperative stops selling the water in this canal. Groundwater is then distributed to another secondary canal covering another area. In the next supply turn, the agricultural cooperative favours the garden owners who were unable to buy water during the last supply turn. On average, four water turns are available from a given secondary irrigation canal per year.

In contrast, the focus of the group of private water sellers, which was originally based on a socio-ethnic claim to obtain access to groundwater, turned rapidly to more economic reasons. In the first period after they emerged, this group only sold water to the disadvantaged former sharecroppers, small owners whose gardens were located in the upstream and central parts of the palm grove. Then they discovered the economic interest of the groundwater selling (see table 4). They extended their groundwater sales to all water users who owned gardens within the command area of their tube-wells. The water sales and the supply of groundwater to secondary irrigation canals by these service providers are consequently now mostly governed by water demand.

The 'irregular' groundwater service markets concern the two remaining groups of groundwater providers: farmers associations and occasional water sellers. Their main aim is to cover their own collective or private needs for irrigation water, thus only surplus water is available for purchase and only outside peak periods (table 4). A distinction can be made between the two management structures concerning the value of water. For the farmers associations, the water is a club good, but they consider off-season water sales to be an excellent way to pay for the maintenance and repairs of the tube-wells. The groundwater distribution proposed by farmers associations follows a water turn between the shareholders. A supply turn is applied to secondary irrigation canals, since the shareholders are located along various canals. The water rights, expressed as a period of irrigation, are counted once water enters a garden. Two prerequisites determine the sale of water to non-shareholders: (i) the gardens of water buyers must be located between gardens of shareholders on the same secondary irrigation canal, and (ii) the shareholders do not want to use their water rights for one reason or another at a specific point in time.

For the occasional private water sellers, the water is a private good but which for reasons of social relations is shared with small-scale neighbours. For these occasional private water sellers, the financial gains are of secondary importance. They sell groundwater services to neighbouring garden owners who share the same secondary irrigation canal. In so doing, they (i) reduce water transport time and hence consumption of electricity, (ii) make a profit to cover the cost of pumping and to pay for mechanical repairs, and (iii) maintain good relations with their neighbours.

4.3.3 The co-existence of rivalling groundwater service markets

The co-existence of four groups of groundwater providers in the same irrigated area with the original social objective of avoiding the emergence of a monopoly gradually resulted in economic competition for the water supply, and hence to the beginning of rivalry between the groundwater service markets. This in turn led some groundwater providers to design strategies around the price of groundwater and the quality of service.

4.3.3.1 Groundwater pricing strategies around the reference price of the agricultural cooperative

The informal groundwater providers use the groundwater pricing of the agricultural cooperative, expressed as an average cost per hour (2.25 €/h), see table 5, as the benchmark for their water sales. No water seller ever exceeds this hourly price. Competition in the groundwater service markets imposes a price which ranges from 1.5 to 2.25 € per hour. However, when the price of water of €/h is converted into €/m³, it is clear that the price of water from all the other water providers is from one third higher to even double the price proposed by the agricultural cooperative (table 5).

Table 5. Technical and economic indicators of groundwater irrigation (empirical data for 2014)

Groups of groundwater providers	Characteristics of the tube-wells				Groundwater pricing			
	Number	Average power of the pump (amp)	Average discharge (m ³ /h)	Volume pumped (Mm ³ /year)	Average (€/h)		Average (€/m ³)	
					Tube-wells owners	Water buyers	Tube-wells owners	Water buyers
Agricultural cooperative	4	69	72	1.7		2.25		0.03
3 Farmers associations	3	47	54	1.0	2	2.25	0.04	0.04
6 Private water sellers	6	31	34	1.3		1.80		0.06
6 Occasional water sellers	6	24	30	0.5		1.50		0.05

Groundwater pricing is not a function of water discharge or of the consumption of electricity: the price per volume of groundwater (in m³) is all the higher, the lower the discharge. For example, the agricultural cooperative sells groundwater for 0.03 €/m³ at an average discharge of 72 m³/h. The price of groundwater supplied by the other informal groundwater providers is much higher for lower water discharges: the farmers associations sell it for 0.04 €/m³ (at a discharge of 54 m³/h), private water sellers sell it for 0.06 €/m³ (34 m³/h) and occasional water sellers sell it for 0.05 €/m³ (30 m³/h).

The price of groundwater (€/h) sold by the groundwater providers is chosen to ensure a profit over and above the cost of water extraction (electricity), the monitoring service (water guards) and the cost of maintenance and spare parts. The depreciation cost of the investments (about 20,000 € for a tube-well, equipped with a pump and electrical engine) is not taken into account by any of the four categories of water providers. This is all the more so since the majority of these tube-wells were subsidised by the state.

The economic gains generated by the sale of groundwater and the operational costs of the tube-wells vary depending on the group of groundwater providers (table 6).

Table 6. Costs and gains of groundwater pumped (empirical data for 2014)

Groups of groundwater providers	Average economic (€/year/tube-well)					
	Revenues	Costs of electricity	Electricity subsidies	Costs of guard	Total costs	Gains
Agricultural cooperative	12,440	8,469	No	3,000	11,469	971
Farmers associations	12,691	8,000	No	940	8,940	3,751
Private water sellers	11,836	2,186	Yes (50%)	0	2,186	9,650
Occasional water sellers	5,000	1,100	Yes (50%)	0	1,100	3,900

The agricultural cooperative makes the least profit per tube-well (971 €/year). This is due to the social objectives of the cooperative, as discussed above. Despite the stated objective of the farmers associations to make some profit on the sale of groundwater services, they only manage to do so to a certain extent (3,751 €/year). This is because shareholders of the collective tube-wells have priority, meaning groundwater is only available for sale at limited times. In addition, most tube-wells belonging to the agricultural cooperative (3/4) and the farmers associations (2/3) are equipped with the most powerful submersible pumps in the palm grove and pump

water at high discharges. They are connected to the electricity supply at medium power; the electrical transformer can support up to 50 kVA/tube-well. Therefore, their electricity consumption and electricity bills are very high (8,000 to 8,469 €/year/tube-well) including a subscription for the electrical transformer (50 €/month). This type of electrical connection does not benefit from state subsidies.

The farmers associations generate 4 times more profit (3,751 versus 971€/year) than the agricultural cooperative, while revenues and costs of electricity are almost the same. This difference in profit is relative to the cost of the water guard. The services of the water guard are much cheaper in the farmers associations than in the agricultural cooperative (940 versus 3,000 €/year). In the farmers associations, the services of the water guard are paid at a rate of 0.15 € per hour of water sold, whereas in the agricultural cooperative, the water guards are public service employees who receive a monthly fee of 250 €. The high costs of electricity and of the water guards have a direct impact on the management of the agricultural cooperative. Despite several attempts to raise the price of groundwater, the majority of the official members (who are also water buyers) opposed this, as “*the objective of the cooperative is to ensure the water supply and not to make a profit*” (Official of the agricultural cooperative).

In contrast, most tube-wells belonging to the private and occasional water sellers are smaller and are connected to the agricultural electrical line at low power (34 Amp), only making it possible to operate a pump at a maximum of 36 m³/h. All owners of connections to this type of electrical line in the Algerian Sahara benefit from a 50% reduction in their electricity bills. The low cost of electricity (2,186 €/year/tube-well) and the absence of water guards meant private water sellers could make very high profits on the groundwater irrigation water services markets (9,650 €/year/tube-well). The sales of groundwater became their main agricultural activity, especially as the majority only have small gardens (less than 0.5 ha) that are hardly or not at all profitable. As private seller of groundwater said: “*my tube-well is more profitable than my small inherited garden*”. However, as stated above, the reference price of the agricultural cooperative means that, for the time being, these private water sellers cannot increase the price per hour.

4.3.3.2 Playing on the quality of services to attract more water buyers

The price of water is not the only criterion of differentiation between the different groups of groundwater providers. Most propose a quality service to attract more water buyers, in particular in the 60% of the palm grove where there is no monopoly of water supply in the upstream and central parts (figure 21).

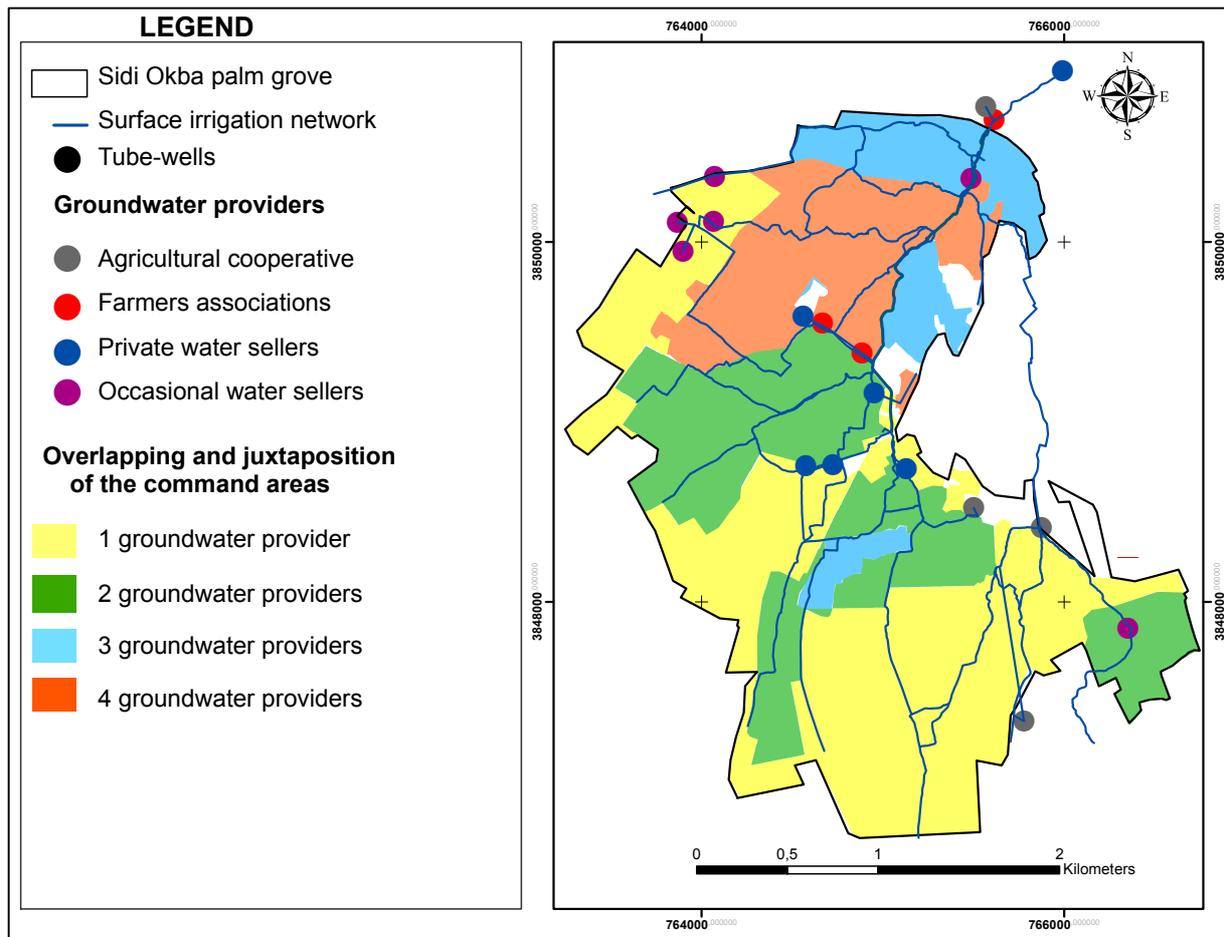


Figure 21. The current distribution of groundwater in the Sidi Okba palm grove

The group of private water sellers came up with strategies to increase the command area for their tube-wells as much as possible (59% for a pumped volume of 1.3 Mm³/year) to attract more water buyers and hours of water sold. Their strategy is to combine two to three low discharge tube-wells (34 m³/h from each tube-well), and guarantee that supply to the same secondary irrigation canal simultaneously. This case is most common during peak periods (from May to September). It makes it possible to increase the distance travelled by water in the earthen canal up to 2.5 km. Likewise, private water sellers sell their water 24 hours a day during peak periods, whereas the agricultural cooperative and farmers associations shut off the supply from their tube-wells for four hours a day, when the price of electricity is high. In this way, the private water sellers cover the largest command area with their tube-wells (59% of the palm grove), compared to that of the agricultural cooperative (72 m³/h for a command area of 55%), and farmers associations (54 m³/h for a command area of 47%).

The non-shareholders of collective tube-wells and the non-owners of individual tube-wells depend on purchased irrigation. Originally, they chose from whom they purchased water based on their social relations with one or more water providers, or on the hydraulic characteristics (discharges, the distance between tube-wells and their garden, etc.). However, things have changed, as some private water sellers offer facilities, or have introduced new rules to help achieve their commercial objective, depending on the balance of power in the different parts of the palm grove. First, they facilitated payment for irrigation by allowing the farmers to pay at

the end of agricultural campaign or in several instalments. Second, they provided a maintenance service of secondary irrigation canals, which they supply with water. Third, they provided a monitoring service of groundwater purchased from tube-wells up to the entrance of the garden. Fourth, they did not charge for water transport time when the gardens are located near the tube-well (i.e. involving less than one hour of transport). Otherwise, one to two hours are subtracted per irrigation turn. Fifth, to ensure regular water sales all year round, especially in winter when the demand for water is lower, the private sellers introduced a rule that obliges their customers to purchase five or six irrigation turns per year: “*buying water in winter ensures you have priority in the peak period*” (a private water seller). Despite the increased rivalry, the social dimension of water was not completely absent, even for the private water sellers. Some of them sell water at a lower price to their family and close friends, for instance.

4.4 Discussion

4.4.1 Complex power relations underlying the development of the groundwater service markets

This study showed how over a period of four decades, four formal and informal often overlapping groundwater service markets emerged in Sidi Okba, which still co-exist today and cater to different date palm growers. These markets were progressively shaped by antagonistic socio-ethnic exchanges and negotiations, interventions by the state (particularly through subsidy programmes) and increasingly by economic competition between water sellers. The formal institutional arrangements around groundwater proposed by the state were systematically transformed to fit the existing social relations and balance of power. This emphasizes the interest of using a historical perspective when studying the emergence and development of groundwater institutions, and confirms the analysis of (Dubash, 2000, 1998), who reported that groundwater markets are socially and ecologically embedded with a path dependent history. We showed that the “*question of power in rural society*” is important, which raises the question; why so few studies have focused on this question to date (Mukherji, 2004).

Interestingly, in the case study, state interventions played a key role in the emergence of the different formal and informal groundwater institutions. These interventions did not only take place at the initiative of the state. The different socio-ethnic groups called on the state whenever the opportunity or necessity arose, underlining the ambivalent relation local communities have with the State (see Boelens, 2008). In Sidi Okba, the state originally favoured small garden owners, who had been their allies since the struggle for Independence (Hamamouche et al., 2015). In parallel, noble families, who possessed the largest gardens and were the ‘water lords’ of the palm grove at the time of the spate irrigation system before 1950, gradually lost control over irrigation water due to several state interventions. The creation of informal farmers associations by these large garden owners in the 1990s can thus be understood as a way of countering this gradual shift in the power balance by obtaining control over their own supply of groundwater in the upstream and central parts of the palm grove. They had the financial means to make the initial investment (drilling the boreholes) and the networks needed to obtain additional funding from the state, but also the organisational capacity for collective action. Thanks to the (relatively) large size of their gardens, three informal associations of 33 to 62

garden owners were able to install a collective tube-well. In the case of small garden owners, this would have required at least five times this number, which made this option not feasible. However, this initiative encouraged small garden owners, who were water buyers, to retaliate as soon as the opportunity arose. This became possible a decade later when agricultural subsidies became available for smaller and less costly tube-wells in the 2000s. According to Lewis (1991) the originally disadvantaged water buyers were then able to redefine or reverse the power games in favour of the water sellers, which is exactly what the different socio-ethnic groups did.

In the Sidi Okba palm grove, some water buyers belonging to the group of small garden owners consequently drilled small private tube-wells, subsidized by the state, either to extend the command area irrigated by groundwater (juxtaposition of groundwater service markets) or in the same command area as that of the collective tube-wells belonging to farmers associations, to prevent a monopoly in the supply of groundwater thereby destroying the status of the water lords and countering inequities in access to groundwater. In contrast to reports by but in agreement with a report by (Ballabh et al., 2002), in India, different social categories of farmers thus gained access to groundwater through tube-wells and proposed their services to sell groundwater to other farmers. For the irrigation community, this meant a long process of mutual observation, intricate negotiations and mobilising the state whenever this was possible.

4.4.2 Rivalry, competition and mutual influence between co-existing groups of groundwater providers

According to (Swyngedouw et al., 2002), social power relations “*decide who will have access to or control over, and who will be excluded from access to or control over, resources or other components of the environment*”. Interestingly, even in case of formal water markets, like in Chile, empirical evidence shows the importance of the social and environmental dimensions of these markets, which are often analysed solely for their economic dimension (Bauer, 2004). In the case of Sidi Okba, the power games and the desire of each socio-ethical group to have its own access to groundwater and not to depend on another group finally prevented the emergence of a power monopoly in 60% of the palm grove. They also explain the co-existence of several groups of groundwater providers. This is in line with Palanisami and Easter (1991), who stated that the best way to destabilize a monopoly position in the supply of groundwater is to increase competition by encouraging the development of community and private tube-wells. Indeed, in the case of the Sidi Okba palm grove, the private water sellers installed their subsidised tube-wells near the collective tube-wells, belonging to the farmers associations created by large-scale garden owners of higher status, to cover the same command area, and thus break the monopoly power of these large garden owners and the dependence of small garden owners on them.

However, once groundwater had become accessible to all the garden owners who wanted to buy water, the private water sellers became aware of the economic opportunity represented by the sale of water. Our study proves that water markets are very dynamic, which pleads – once again – for a historic perspective in analysing institutional arrangements. Along the way, groundwater service markets enabled its protagonists to make money and introduced a clear economic dimension to these markets. Today, in the Sidi Okba palm grove, water sales are

consequently less influenced by belonging to a socio-ethnic group. Shah and Ballabh (1997) also pointed out that when several socio-ethnic groups are water sellers in the same area, “*there was smooth, trouble-free water trade which seemed to be least influenced by the caste and class of either the buyer or seller*”. The coexistence of four groups of water providers created competition for the supply of groundwater, economic rivalry between groundwater sellers, but also mutual influence between groundwater providers. For instance, the private water sellers could not increase their prices (per hour of irrigation service) beyond the official price of the agricultural cooperative (see Mukherji, 2004), for similar observations in water service markets in India). However, in our case, private water sellers got round this constraint by selling water at the same price per hour but with lower discharges, thus making the unit of water more expensive. To justify this difference in price, they provided more flexible water delivery to their ‘clients’. Several authors have analysed such ‘oligopoly models’ of groundwater service markets in South Asia (Dubash, 1998; Palmer - Jones, 2001; Prakash, 2005) where each water buyer had access to 2-3 alternative groundwater providers belonging to different social groups. (Shah, 1993) showed that in the competitive groundwater service markets, “*sellers are under pressure to ‘delight’ their clients*” by offering facilities to attract more customers. According to Shah and Ballabh (1997), such sales strategies include the reduction “*of prices to the minimum*”, the provision of “*dependable, high quality irrigation service*”, and the offer of “*non-price inducements such as credit up to harvest time, water supply through rubber pipes or ‘pucca’ channels*”. In the case of Sidi Okba, the private water sellers used two types of strategies. First, the water providers jointly agreed to accumulate low water discharges from their respective tube-wells in order to transport groundwater as far as possible, and consequently be able to serve more customers. Each customer would then get a share of the combined discharge. Second, individually, they offered different advantages to differentiate themselves from the others, but also imposed, whenever possible, some rules, for instance the obligation to buy water during winter (when demand is low) in order to ensure access to groundwater during the peak summer season. These empirical results reveal the limits of the reduction in the monopoly of power of the water sellers as groundwater markets develop and become more competitive. In our case study, the balance of power between private water sellers and water buyers is dynamic, for instance, prompting the emergence of new water sellers, and differs depending on the water situation in different parts of the palm grove. This also explains why the community maintains distribution of groundwater by the agricultural cooperative as a way to check the advance of private water sellers. The economic dimension of water service markets consequently remains embedded in the wider social structure of the irrigation community.

4.5 Conclusion

This study shows how, over time, different groups of water buyers gained access to groundwater, often as water buyers, but also – whenever possible – by becoming water sellers themselves. These different groups were very much aware of the importance of gaining control over part of the resource base, possibly because of their longstanding experience in dealing with water issues in this community-managed irrigation system. Despite this fascinating tale, it should not be forgotten that sometimes-brutal social power games underlie such strife, in which some lose out. For example, some garden owners stopped irrigating their gardens due to the difficulty in accessing groundwater, often combined with other problems such as the sharing of

inherited land. Finally, the institutional arrangements set up by the irrigation community in close interaction with the state, focused on dealing with the social, economic and physical constraints to gain access to and use groundwater, to the detriment of the (declining) groundwater resource. However, the proven capacity of the irrigation community to ensure these complex groundwater service markets function should encourage public actors to mobilise this capacity to deal also with the decline in water tables, which is one adverse outcome of the 'success' of these markets in furnishing groundwater to all users.

Chapitre 5

Nouvelle lecture de la transformation de l'agriculture saharienne : continuités entre les anciennes oasis et leurs extensions (Algérie)

Ce chapitre a été soumis sous forme d'article à la revue World Development :

Hamamouche, M.F., Kuper, M., Lejars, C., Amichi, H., Ghodbani, T. New reading of Saharan agricultural transformation: continuities of ancient oases and their extensions (Algeria). World Development.

Chapitre 5. Nouvelle lecture de la transformation de l'agriculture saharienne : continuités entre les anciennes oasis et leurs extensions (Algérie)

Ce chapitre interroge les continuités et les ruptures dans le développement territorial des espaces irrigués dans le territoire oasien de Sidi Okba. Nous contestons dans ce chapitre la vision dichotomique d'une agriculture oasienne traditionnelle et sociale pratiquée à l'intérieur de l'ancienne palmeraie et d'une agriculture « moderne » de marché pratiquée en dehors, d'un système d'irrigation collectif à l'intérieur et d'une irrigation purement individuelle à l'extérieur, des initiatives communautaires localisées à l'intérieur et des incitations globalisées de l'État à l'extérieur. L'analyse de cette controverse a permis de démontrer qu'au-delà de leur apparence physique distincte, l'ancienne palmeraie de Sidi Okba et ses extensions sont interconnectés et forment ensemble un seul et même territoire hybride. L'analyse de cette hybridité s'est reposée sur le concept du territoire de l'eau et le triptyque espaces-ressources-sociétés, tout en associant une démarche multi-scalaire à deux échelles (globale et locale) à travers l'analyse des politiques agricoles et des exploitations agricoles. Dans ce chapitre, nous mobilisons les résultats obtenus dans les chapitres précédents sur l'accès et l'usage de la ressource en eau souterraine, les systèmes de production et la mobilité des acteurs entre l'ancien et les nouveaux espaces irrigués.

Les résultats de chapitre montrent que l'ancienne palmeraie de Sidi Okba et ses extensions sont interdépendantes et complémentaires. La communauté oasienne de Sidi Okba est active dans les deux espaces irrigués et agricoles et utilise la même ressource en eau souterraine. Elle a modernisé l'ancien espace irrigué de l'ancienne palmeraie tout en maintenant son organisation collective, et a développé une agriculture de marché dans les nouveaux espaces irrigués tout en maintenant une organisation familiale héritée de l'agriculture oasienne traditionnelle. La communauté oasienne de Sidi Okba s'est appropriée par le bas les discours politiques initiés par le haut pour développer un modèle agricole à son image qui reconnaît à la fois la prouesse économique de l'agriculture orientée vers le marché et la richesse du patrimoine culturel et agricole des anciennes oasis. Ce chapitre conclut que les nouveaux espaces agricoles sahariens sont une *creatio ex materia* des anciens espaces agricoles oasiens, et forment ensemble un seul et même territoire. D'autant plus qu'ils impliquent les mêmes acteurs qui combinent des connaissances traditionnelles et modernes et pratiquent des systèmes agricoles en combinant des logiques économiques et sociales. De plus, les deux espaces sont soumis aux interventions étatiques, aux initiatives locales de la communauté d'irrigants et aux actions individuelles et collectives.

5.1 Introduction

The second half of the 20th century was marked by rapid economic changes both in the world economy and in society that transformed the essence of rural areas (Woods, 2007). The Middle East and North Africa (MENA) region experienced radical economic transformations during this period with the discovery of vast reserves of non-renewable natural resources, in particular oil (Mubarak, 1998). The oil resources constituted the main if not the only financial resource of these countries (Ahmed et al., 2014). After the collapse of the price of oil in the 1980s (El-Erian et al., 1996; Shafik, 1995), and the exploitation of almost all surface water resources through the construction of dams, there were two options for the agricultural sector of these countries: increase the food import bills thereby importing virtual water (Allan, 2007) or develop the agricultural sector using the considerable but little-renewable groundwater resources that had been discovered (Yang and Zehnder, 2002). Most political leaders in the MENA region saw in groundwater resources a means to rapidly achieve food self-sufficiency and to reduce the costs of imports, mainly of cereals (Beaumont, 1997; Dubost, 1991; Shetty, 2006). Access to groundwater was seen as an enabler of an important rural socio-economic transition (Allan, 2007) and as a way to prepare for the post-oil period (Bisson, 2003). Following Asia's experience during the green revolution, the new forms of agriculture were based on intensive use of groundwater and "modern" inputs such as fertilizers, along with the introduction of "modern" high yield varieties (Byerlee and Siddiq, 1994: 1346).

Like other countries in the MENA region (Libya, Saudi Arabia), the Algerian government wanted to promote agricultural development in the Sahara after independence, focusing on cereals in line with the idea to feed the growing cities (Beaumont, 1989; Beaumont et al., 1985). This development was developed by the State based on an "agribusiness" model, grounded in the exploitation of pumped groundwater using large pivot systems (30-50 ha) and cheap fossil fuel on "bare land", outside of the existing oases (Côte, 2002: 10). However, the results of these projects were mitigated (Bisson, 2003). This was mainly due to the agricultural development model proposed by the state, which did not take the local biophysical and socio-economic context fully into account, and has been compared to a *creatio ex nihilo* .(Bensaâd, 2011; Lavie and Marshall, 2017) The Sahara was considered as a physical support for national agricultural ambitions without necessarily considering existing local development trajectories (see Bebbington et al., 2008, for a discussion on the co-production of territory), aiming to develop a new type of landscape.

Another longstanding large-scale project for the agricultural development of the Algerian Sahara was linked to the promotion of the commercial export-oriented date palm variety *deglet nour* in mono-cropped plantations (Khiari, 2002; Lakhdari and Dubost, 2011). As was the case for cereals, this 'modern' sector was to be developed on new land, outside the traditional oases. The new agricultural landscape represented a break with that of the traditional oasis and its multi-layered cropping systems made up of palm trees, fruit trees including fig, pomegranate and citrus, and annual field crops.

The agricultural development policies, land reforms (economic liberalization, subsidies and credit) in the Algerian Sahara in the three last decades, thus largely focused on the conquest of 'virgin' agricultural land through market-based agriculture. The ancient oases remained on the

margins of these large-scale initiatives of agricultural development. Their agrosystems were viewed by political actors as something of the past and only some limited preservation or restoration programs – with more of a social than an economic ambition - were conducted to preserve the material and immaterial heritage of existing oases (Côte, 2002; Kouzmine, 2012). Due to their social and agrarian complexity, they were considered in agricultural policies as unfit for market-oriented agriculture. Thus, territorial development was, therefore, planned through a dichotomous lens of binaries by separating the traditional from the modern, the economic from the social, the global from the local (Kouzmine, 2012).

We argue that these binary qualifiers are useful to understand the formulation of two distinct Saharan agricultural development models considered by agricultural policies as two types of agriculture that co-existed over the past 30 years, but disconnected from one another. Oasis agriculture is often described as ‘traditional’, ‘local’, community-managed, based on solidarity and collective action, and as a social construct (Lavie and Marshall, 2017). The most frequently heard qualifiers about new forms of Saharan agriculture in the extensions are ‘modern’, ‘global’, ‘state’, ‘private’ and ‘economic’. These new landscapes are very different from ancient oases “*in their management, size, existing production and also farmer investment and involvement*” (Ahmed and Abdedayem, 2017: 12). Production in these landscapes is market-oriented: agricultural intensification, mechanization, use of inputs and modern technologies including drip irrigation, greenhouses, and individual tube-wells (Côte, 2002). Ahmed and Abdedayem (2017: 12) added that “*the land is exploited like a mine, that is to say until available natural resources exhausted*”. In this study, we used these dichotomous binaries (traditional vs. modern, local vs. global etc.) as an entry point for our analysis, as they reveal the view policy actors have on agricultural development in the Sahara through the creation of two distinct landscapes (traditional oases and new extensions), and enabled us to identify the projects that were implemented to contribute to the development of both types of agriculture.

However, we deliberately discarded these qualifiers in the analysis of the agricultural dynamics, by explicitly recognizing the hybridity of each landscape and the territorial continuity of both landscapes, situated in the same territory. (Swyngedouw, 1999: 444) discussed the “*clear*” and “*unambiguous*” hybrid character of the Spanish water landscapes in which the social and the natural are mutually constitutive. This hybridity is arguably nowhere more evident than in the highly artificial Saharan oases, constructed over a long period of time in a hostile arid environment, where water was central to life and around which society was organized. Similarly, we will argue that some of the most used qualifiers by policy actors to distinguish oasis agriculture from new Saharan agriculture (modern versus traditional, local versus global, etc.) can apply to both landscapes. We then look at the territorial continuity, understood here as the “*as a cluster of processes that underline the convergences*” between both landscapes (Ferrer-Gallardo, 2011: 26).

The aim of this article is then to challenge the dichotomous view of traditional oasis agriculture and that of the market-oriented extensions. While the new agricultural landscape appears to be a *creatio ex nihilo*, we demonstrate that the extensions are in fact, the *creatio ex materia* of the ancient oases, and that two Saharan agricultural landscapes are firmly connected. As a case study, we chose the oasis of Sidi Okba, located in the region of Biskra, in particular the ancient palm grove and its Tadjdid extension. This study area is particularly interesting because the

oasis community of Sidi Okba developed new forms of agriculture on the margins of the existing palm grove. This case study highlights the paradox of two Saharan agricultural landscapes, which at first sight may appear to be physically and ideologically separated, but in reality, they are hybrid and interconnected especially since they involve the same actors who combine traditional and modern knowledge and practice farming systems that combine economic and social logic. Moreover, both landscapes are subject to state interventions and local initiatives by the irrigation community, and individual and collective actions. It can be concluded that the new extensions are a new version of the traditional oasis that are better adapted to globalization but in continuity with the ancient oasis.

Context and Methodology

A Dual Agricultural Policy

These two types of Saharan agriculture, traditional oases and the new extensions, were considered as two different entities, to the point that most development programs concerned either one agricultural landscape or the other.

On one hand, the long-standing oasis is a multi-layered agrosystem based on subsistence farming, associated with a human settlement; this old landscape has been declining since the 19th century due to a series of events: decline of trans-Saharan trade and the rigidity of the new political boundaries, emancipation of the former sharecroppers, and economic liberalization (Choplin, 2014). In the second half of the 20th century, there were some specific but limited state initiatives for the “*restoration*” or the “*conservation*” of such “*traditional*” oases (Bouammar and Bekhti, 2008: 20). It was thought that these ancient oases played a key role in maintaining the ecological and social balance in a hostile environment. Since the 1990s, the state launched a series of operations to save this historical heritage and rehabilitate the ancient oases through different administrative services, including under the national scheme for territorial development (Kouzmine, 2012). At the local level, these operations consist in protecting the ecosystem, mobilizing new water resources, rehabilitating water springs, restoring agricultural irrigation canals and drains, rejuvenating the palm groves, building roads and tracks, and developing rural electrification (Messar, 1996). However, these operations did not address the underlying social and agricultural constraints of these oases, such as the extreme fragmentation of landholdings, thereby explaining the lack of interest in these programs by some of the most dynamic farmers in the areas concerned (Bisson, 2003). In addition, according to (Kouzmine, 2012), these operations did not have the desired effect since state representatives did not concert them with the local actors. Compared to the large-scale programs of the conquest and development of new agricultural landscapes on new frontiers of water, the preservation operations of the ancient oases did not receive much attention from the state (Bensaâd, 2011; Kouzmine, 2012).

On the other hand, the market oriented agriculture practiced on the extensions is based on the exploitation of little-renewable groundwater resources, particularly targeting the commercial production of dates (mainly the *deglet nour* variety), horticulture under greenhouses and cereals (Côte, 2002; Khiari, 2002). The state provided a massive impetus for the development of the new agricultural landscape through a series of land reforms and agricultural development programs, inspired by the political transition from a socialist state to a more liberal state after

the death of President Boumediene in 1978. This policy shift was interpreted by Bedrani (1987: 63) as a “*right turn*” of the agricultural policy which announced a liberal orientation. More specifically, the second Agrarian Reform of 1980 and the 1983 APFA land reform law related to the access to agricultural land ownership aimed to boost the agricultural sector by encouraging private initiative, while slowing the rural exodus (Bessaoud, 2013). According to Bedrani (1987: 61) the APFA law “*authorizes the state to sell at the price of a symbolic dinar the previously public lands non cultivated, to those undertaking to develop them*”. According to Daoudi et al. (2015: 9), “*this law marks a break with the ideological orientation of previous ‘socialist’ land reforms*”. This law also regularized the informal occupation of land with the aim of developing productive market-oriented agriculture in the Algerian Sahara (Bisson, 2003; Hamamouche et al., 2015). The land initially occupied illegally or allocated by the state was put in production by exploiting the little renewable groundwater resources through deep tube-wells. In parallel with the land reforms, agricultural development outside the ancient palm groves was widely supported by different agricultural subsidy programs, financing irrigation infrastructure and seedlings (Daoudi et al., 2015). Also, the state made major investments in rural infrastructure, including electrification and roads (Khiati, 2008; Daoudi et al., 2015).

According to official data in 2002, 274,215 ha of state lands in the Sahara were allocated, although only 46,172 ha were actually developed (Lakhdari and Dubost, 2011). However, agricultural development picked up rapidly thereafter. The number of palm trees in Algeria’s Sahara increased from 5.5 million palm trees in 1959 to 12 million in 2000 and then to 17 million in 2011 (Benziouche and Cheriet, 2012; Côte, 2002). In the region of Biskra, the area of horticulture under greenhouses increased very rapidly from 1,370 ha in 2000 to 5,165 ha in 2014, which represents 130,000 greenhouses (Naouri et al., 2017). The economic opportunities offered by these new forms of Saharan agriculture, based on the ‘unlocking’ of land and water resources, were attractive for both the local population and national investors (Hamamouche et al., 2015).

5.2.2 Study Area

The study was conducted in the Sidi Okba oasis situated in the Algerian Sahara 19 km southeast of the city of Biskra near the southern slopes of the Aures Saharan Mountains. The topography of the area is relatively flat, gently sloping towards the south. It is crossed by wadis originating in the Aures that end up in the depression of Chott Melrhir (see Côte, 1991). The administrative department of Biskra extends over an area of 21,670 km². It has an arid climate with less than 150 mm of annual rainfall and is characterized by hot dry summers, and cold winters (MRE, 2009). The irrigated area of Biskra covers 84,285 ha, of which 30% are managed collectively and 70% are based on private irrigation (*ibid.*). Groundwater is the main water resource used in this region (94%) through wells and tube-wells and natural springs (Kuper et al., 2016).

The oasis consists of the ancient palm grove (733 ha) and the recent extensions (3,310 ha). The study focused on the ancient palm grove and the Tadjdid extension (608 ha, of which 527 ha are presently cultivated), which were originally part of a spate irrigation system on Wadi Abiod-Biraz (figure 22). Three other oases (Gharta, Seriana and T'houda) were also concerned by this irrigation system. The ancient palm groves are located between 5 and 7 km upstream of that of Sidi Okba.

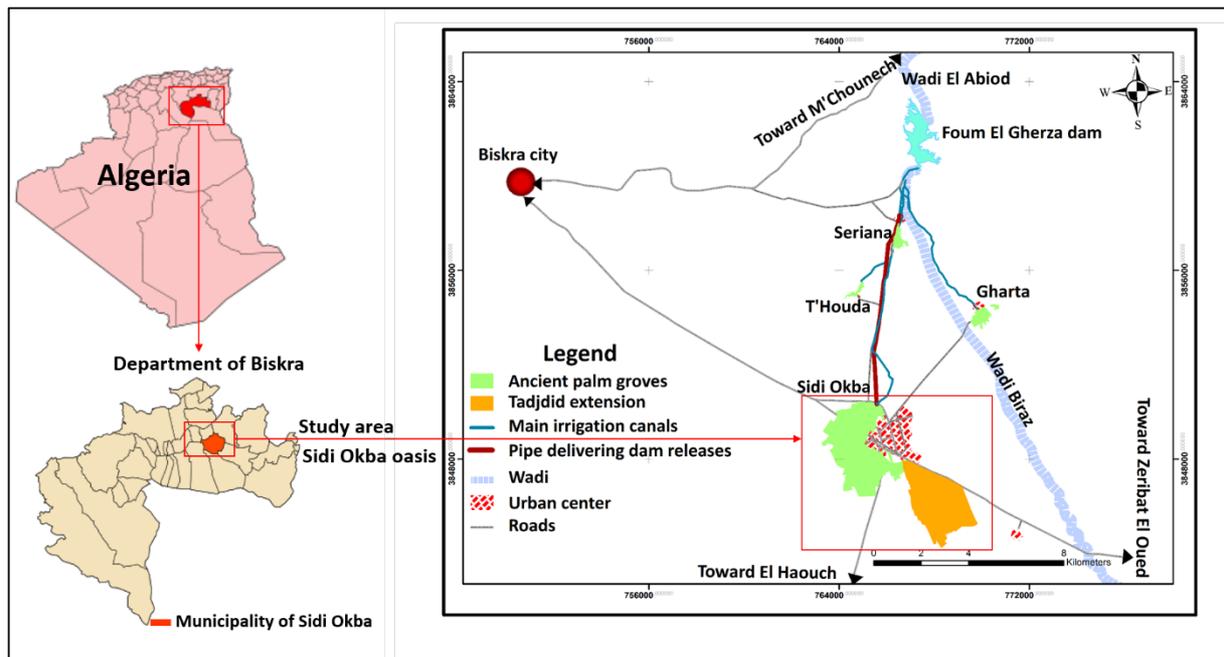


Figure 22. The study area

The ancient palm grove was developed around the shrine of the Arab conqueror Okba Ben Nafaâ, who died in 683 AD near Biskra. In recent decades, this reputed palm grove experienced physical degradation that led to the disappearance of the lower layers of the stratified agricultural system (i.e. fruit trees, annual field crops).

Historically, the population of Sidi Okba cultivated cereals on the lands surrounding the ancient palm groves. The different cropping systems in both the palm groves and the surrounding areas were traditionally irrigated by diverting floodwater from the El Abiod wadi through a spate irrigation system, complemented by groundwater from shallow wells (less than 15 m in depth), exploiting the phreatic aquifer (Hamamouche et al., 2017b). After the construction of the Foum El Gherza dam in 1950 by the French colonial administration, most of the surface waters of the Wadi El Abiod went to the palm grove and the spate irrigation system declined.

During the socialist period, after independence, the collective lands surrounding the ancient palm grove of Sidi Okba were nationalized by the state with the 1971 Agrarian Reform. However, the land was never redistributed, since a political transition occurred towards more liberal policies after the death of President Boumediene in 1978, who was the initiator of the 1971 Agrarian Reform. During this political transition, the young people of Sidi Okba took advantage of the situation to informally occupy the previously nationalized land starting in 1979 (Hamamouche et al., 2015). One of these landscapes was the Tadjdid extension (the name Tadjdid means renewal). The informal land occupation in Sidi Okba, as elsewhere in the Sahara, was regularized later on following the 1983 land reform (Bisson, 2003).

Currently, the Sidi Okba oasis hosts four social categories of farmers: descendants of former noblemen, descendants of former sharecroppers, private investors native of Sidi Okba who returned to the land for social and economic reasons, and private investors from nearby administrative departments, attracted by the economic opportunities of the new extensions.

The view of a radical rupture between traditional oasis agriculture and the new Saharan agricultural landscape described by some authors and public authorities as “*exogenous*”, “*grafted*”, as a “*creatio ex nihilo*” (Bensaâd, 2011; Kouzmine, 2012), caused most studies to focus on one or the other agricultural landscape, which they considered to be two distinct entities. The distinction between ‘traditional’ systems and ‘modern’ systems is generally based on physical differences, in particular as regards the farming systems and the access to water. Kouzmine and Avocat (2007: 3) argued this view of ruptures by the fact that the arrival of motor pumps caused an “*individualization of agricultural practices, whereas until now collective practices dominated in oases, the existence of which could only be explained by collective action*” in the hostile Saharan environment. While this vision of a *creatio ex nihilo* continues to influence public policy, in the field the realities are more complex. In our case study, we challenged this view by showing that the collective mode of organization of access and use of deep groundwater are present in both landscapes in Sidi Okba and that these practices were inherited from the ancient community irrigation system (Hamamouche et al., 2017b).

5.2.3 Research Approach

The agricultural dynamics of the ancient oasis of Sidi Okba and the Tadjdid extension were jointly studied to analyze their continuities. The historical analysis of the farming systems (Cochet, 2012; Cochet and Devienne, 2006) and of the irrigation system (infrastructure and irrigation institutions; Ostrom, 1993) formed the basis of the study. First, between 2013 and 2015, a survey was carried out comprising field observations and 100 semi-structured interviews with irrigation staff and farmers, to characterize and to map the irrigation infrastructure (surface water irrigation network, wells and tube-wells). This survey also enabled us to characterize the modes of access and use of the multiple water resources (surface and groundwater), and the rules-in-use. Next, we characterized the different farming systems and the transformations they had undergone over time. To this end, 50 historical semi-structured interviews were conducted with key witnesses, elders from Sidi Okba (farmers, water service providers, and agents from the administration) who had experienced the major transformations of local agriculture. Our questions pertained to the major events that had contributed directly or indirectly to these transformations, such as state intervention (agrarian reforms, agricultural programs and subsidies, etc.) and social relations (interactions, power struggles, emancipation). This knowledge of agrarian history was enhanced by old reports and maps in the archives (e.g. maps 1937 and 1957). The various agrarian reforms and agricultural programs promulgated since the independence of Algeria were also analyzed to understand their application in both landscapes. Then current land use was mapped using Geographic Information Systems (GIS). This mapping work was easier to carry out in the Tadjdid extension compared to the ancient palm grove. Inside the palm grove, the high density of palm trees (more than 150,000 palm trees) and the fragmentation of farm plots with complex heritage rules complicated the task. We distinguished the plots with the relatively recent commercial *deglet nour* date palm variety from the traditional date palm varieties, using a GPS. In contrast, in Tadjdid the farms are relatively easy to localize in Google Earth, due to their bigger size and the fact that these farms are more recent and thus less divided. This allowed us to trace the farm limits and detail the cropping systems in 2015. Finally, detailed technical/economic farm surveys based on purposive sampling were conducted on 12 farms representative of the entire range of cropping

systems identified to show the divergence in farm income of the farms located in the palm grove and those in the extensions or in both. The average net farm income was determined for five cropping years from 2009 to 2014. This took into account production costs (water, inputs and the cost of the daily labor force) and on-farm agricultural activities. However, off farm income, which is substantial, was not accounted for. Similarly, the number of active family members on the farm and the depreciation of equipment were not included, as the aim of our study was to compare different farming systems, which are not highly different in terms of family work and equipment. Sampling was based on the geographical location of farms: six farms were located only in the ancient palm grove of Sidi Okba, four farms were located only in Tadjdid and two farms had land in both landscapes. A map was drawn to locate all the farms and all the crops in the two landscapes.

First, we analyzed the result of the surveys on each of the two landscapes using binaries. The use of binaries was a methodological choice to reveal the attitude actors have towards agricultural development in the Sahara, particularly the dichotomous view of the two landscapes (ancient oases and new extensions). In the literature on agriculture in the Algerian Sahara, six pairs of dichotomous binaries are most often used to describe and analyze the two agricultural landscapes (Bisson, 2003): global-local, traditional-modern, individual-collective, groundwater-surface water, social-economic, and state-community. In this study, we grouped some of these binaries, and both landscapes were thus described through four groups of binaries: (i) access and use of irrigation water: individual/groundwater vs. collective-surface water, (ii) farming systems: traditional vs. modern, (iii) actors: economic vs. social logic, and (iv) agricultural development: local-community vs. state-globalized.

Second, we analyzed the hybridity of each landscape. The use of this concept was a methodological choice to reveal the logics of the farmers and the reality and complexity of agricultural dynamics in the field, which – as we will show – illustrates how the oasis community appropriated locally a more global political discourse about agricultural development in the Sahara. In doing so, the community acknowledged both the prowess of economic development and market-oriented agriculture, while maintaining the rich cultural and agricultural heritage of the ancient oasis. Following the work of Raffestin and Bresso (1982: 191) which stipulates that pure tradition or pure modernity do not exist, “*but rather two situations such as the combination of traditional knowledge and new practices, or combination of modern knowledge and traditional practices*”, the interaction between the different dichotomous binaries was analyzed in each of the landscapes: the ‘or’ was replaced by ‘and’. In other words, each landscape was considered hybrid. This implied that we looked, at the same time, at the interactions between traditional and modern knowledge and practices, social and economic logics, state interventions and social ambitions, and collective and individual actions.

Third, we demonstrated the continuities between both landscapes. This territorial continuity expresses itself through the same actors who are active in both landscapes, use the same groundwater resource and mainly cultivate palm trees. Therefore, we used the basic elements of territoriality (water resources, space, and actors (Ghiotti, 2006) to analyze the continuities of the ancient palm grove and the Tadjdid extension.

In what follows, we will first present the two landscapes through the dichotomous lens of binaries, which most political actors habitually use to differentiate the two forms of Saharan agriculture. Second, we will show that behind this dichotomous *cliché*, the field reveals a totally different and hybrid reality in each of the two landscapes. Third, we will show the continuities between both landscapes and how these landscapes fit in a single territory. On the basis of these three results, we will first discuss how our results enable a new interpretation of agricultural realities in the Algerian Sahara, in particular regarding the territorial continuity between the ancient palm grove and the new extensions. Second, we discuss the interactions between the State programs and the initiatives of oasis communities, showing how the former inspired the latter and how the latter were then progressively formalized by the State. We conclude about the development implications of continuing to ignore the interdependencies of both landscapes in Algeria's Sahara.

5.3 Results

5.3.1 Appearances Can Be Deceiving: Reading the Agricultural Landscapes Through the Dichotomous Lens of Policy Binaries

At first sight, the ancient palm grove and the Tadjdid extension are physically different, in particular the farming systems and access to water and land (Figure 23).

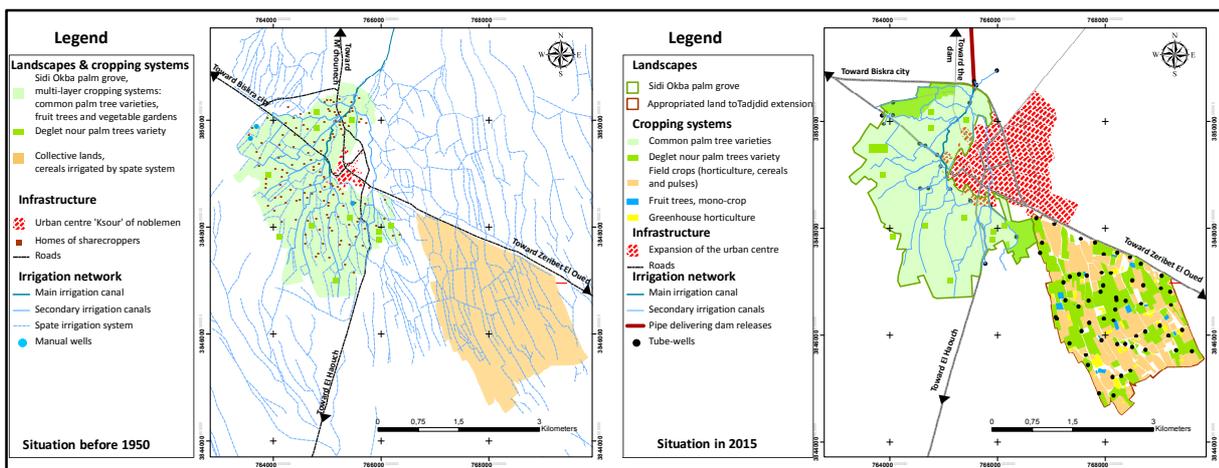


Figure 23. Trajectory of the Sidi Okba oasis from 1950 to the present

5.3.1.1 Collective surface irrigation system in the palm grove and individual tube-wells in the Tadjdid extension

Access to and the use of water differ considerably in the two landscapes (Fig. 23). The ancient palm grove is characterized by a collective irrigation system with a surface water irrigation network and carefully crafted rules for the distribution of water. In the past, irrigation water was mainly supplied through dam releases and water leakage from the dam. The leakage started after the construction of the dam in 1951, as the dam is built on limestone. The annual volume of dam leakage varies between 1 and 10 Mm³ (Hamamouche et al., 2017b). Since the late 1970s, the surface network has also been supplied by groundwater pumped from deep tube-wells. Nineteen tube-wells were drilled in the palm grove between 1979 and 2015. Dam leakage and groundwater are distributed through water service markets (Hamamouche et al., 2017a) In the Tadjdid extension, the absence of a collective irrigation network and the presence of private

tube-wells on each farm mean that access to and the use of groundwater is mostly private and individual. Each farm is equipped with one or two private tube-wells and an irrigation network at the scale of the farm. Individual access to, and use of groundwater goes in tandem with more intensive cropping systems, but is also linked to the agricultural subsidies which favor farms that are bigger than 5 ha.

5.3.1.2 Traditional oasis agriculture inside and modern agriculture outside

The cropping systems used in the two landscapes also led to territorial differentiation (table 7).

Tableau 7. Characteristics of farms and farming systems in the two landscapes

Landscapes	Palm grove	Tadjdid Extension
Agricultural area (ha)	733	608
Cropped area (ha)	733	527
Farm characteristics		
Number of farms	> 2000	56
Average farm size (ha)	< 1	10
Configuration of plots	Fragmented	in one block
Cropping systems		
Palm trees (varieties)	common > <i>deglet nour</i>	<i>deglet nour</i> > common
Palm trees (ha)	710	240
Fruit trees (ha)	10	25
Annual crops: cereals, pulses, horticulture (ha)		241
Greenhouses		23

The centuries-old palm grove is a degraded traditional oasis ecosystem. It is characterized by traditional palm tree varieties, a high density of palm trees (260 trees per ha on average, table 7), asymmetrical organization of palm trees and a very heterogeneous age structure of palm trees. The farms are considered as gardens by their owners, since they are fragmented in very small plots, reflecting the social process of heritage. In most cases, their surface area does not exceed 0.5 hectare, explaining the large number of farms. In addition, most of these farms are co-owned, which explains the high number of date palm growers (4,000 owners relating to more than 2,000 farms) for an area of only 733 ha. The bottom layers of the traditional palm grove (fruit trees, annual crops) have usually disappeared.

In contrast, the Tadjdid extension is oriented towards market agriculture, based on high value crops. The farms are large (10 ha; table 7) and the plots are generally grouped together. During the survey, the extension contained 56 farms in which palm trees ranked first and accounted for 240 ha (46%) of the cropped area. Contrary to the ancient palm grove, 83% of palm trees consisted of the commercial *deglet nour* variety, because of its high market value on the national and international markets. Field crops such as cereals and pulses accounted for 46% of the cropped area. This area decreases from one year to another. According to a 70-year old farmer: “the area of the field crops has decreased for four different reasons: the droughts in recent years, inflation of the costs of agricultural labor, bad quality seed, and a more than 50%

reduction in the profits to be had with these crops". Fruit trees (citrus, fig, apple, pear, olive trees, and grapevines) were also present, either intercropped with palm trees (17 ha, 3.3% of the cropped area) or as a monoculture (eight hectares, 1.6% of the cropped area). The area of intensive greenhouse agriculture, which has emerged in many regions of the Sahara since the 1980s (tomato, sweet pepper, melon, eggplant, etc.), is slowly increasing but still accounts for only a small area (38 ha, 7% of the cropped area). This rather slow development of greenhouse horticulture compared to its rapid development in neighboring areas (Khiari, 2002), is mainly due to the absence of sharecroppers who specialize in greenhouse horticulture. On one hand, sharecroppers are attracted by the pioneer fronts in the open spaces in the desert that offer more opportunities for economic and social advance (Amichi et al., 2015). On the other hand, the farmers in Sidi Okba do not want single young male sharecroppers on their farms, because families live on the farm.

5.3.1.3 Social recognition inside the palm grove and economic logic outside

In the Tadjdid extension, the focus of the farming systems is on market-oriented agriculture. The farms have a high net income compared to the palm grove (59,900 €/year/farm versus 100 to 1,800 €/year/farm in the heart of palm grove and 7,100 €/year/farm at its periphery). The farms with land in both landscapes (two sample farms) have an intermediate income of 19,800 €/year/farm. This can be seen in figure 24, which shows the agricultural income of 12 sample farms in the two landscapes.

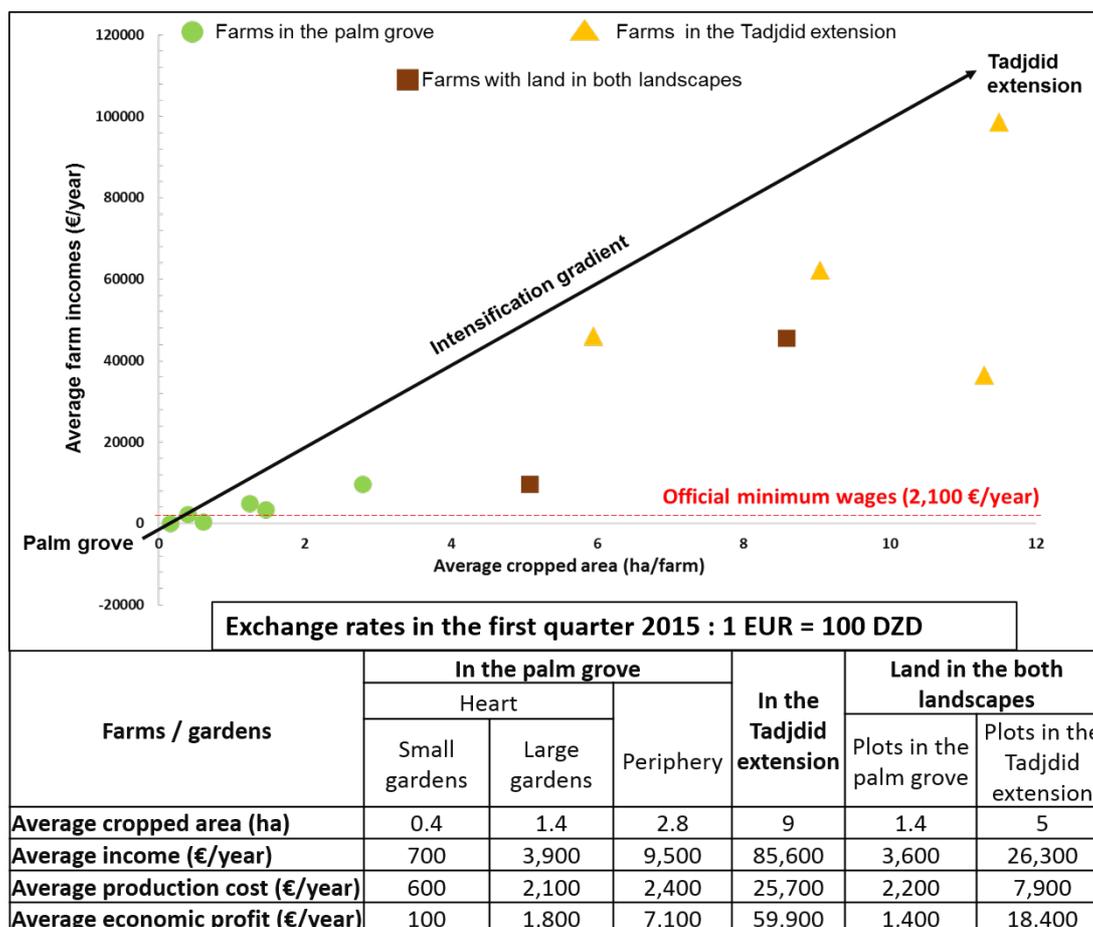


Figure 24. Average farm income for five years (2009-2014) on 12 sample farms situated only in the palm grove, only in the Tadjdid extension and in both landscapes

In the ancient palm grove, where most gardens do not exceed half a hectare in size, net income is low (100 €/year/farm) and may even be negative. Owners of larger gardens (more than one hectare) can earn more (1,800 €/year/farm), but the net farm income is still less than the official minimum wage (2,100 €/year/farm). In contrast, the more one moves away from the heart of the palm grove, the higher the net farm income, which far exceeds the official minimum wage (7,100 €/year/farm in the periphery and 59,900 €/year/farm in the Tadjdid extension). These estimates reveal the underlying farmers' logic. In the heart of the palm grove, the social logic linked to the possession of the gardens is more important than their profitability. According to a descendant of former sharecroppers "*In the palm grove, the gardens are called by the family name. The more the name of a family is repeated, the better this family is socially recognized*". In the Tadjdid extension, the economic logic is very much present: large farms, individual and private access to groundwater, high market value crops, crop intensification, use of inputs, and modern irrigation techniques characterize this agricultural landscape. However, at the periphery of the ancient palm grove, there is a transition zone with larger farm holdings that combine a social and economic logic. In addition, several farms have plots in both the palm grove and the Tadjdid extension, resulting in intermediate income, in the range of almost 20,000 €/year/farm (see figure 24 for the results of the sample farms). The plots located in the Tadjdid extension thus have an average net benefit 18 times that of the plots located in the ancient palm grove.

However, the net farm income is not stable and may double or triple from one year to another in both landscapes. In the palm grove, this variability is linked to the availability of dam water, which is cheap and comes in great volumes. In the Tadjdid extension, this variability is linked to changes in farming systems (for instance, the installation of greenhouse horticulture) or market prices.

5.3.1.4 Local community-based adaptations inside and state-led globalized development outside

All the liberal agricultural reforms (land reforms, economic liberalization, agricultural programs and subsidies) adopted during the last three decades targeted the conquest of new virgin spaces more conducive to agricultural intensification and diversification at high market value. At first sight, the Tadjdid extension appears to be a typical example of the Saharan agricultural development promoted by the state: agricultural development on newly colonized land, exclusive use of pumped groundwater, organized around high-value crops, especially deglet nour date palms, and promoted through subsidies and credit facilities provided by state programs. According to our survey in 2015, the number of commercial *deglet nour* palm trees (26,000 out of 31,500; 83%) was much higher in Tadjdid than in the traditional palm grove.

In the state programs, the ancient palm groves were considered unsuitable for economic development. The gardens in the palm groves did not meet the state criteria needed to benefit from agricultural subsidies (tube-well, drip irrigation and irrigation basin, deglet nour palm tree seedlings, etc.). For example, the farm had to cover an area of at least five hectares, and it had to meet some agronomic and technical-economic requirements, such as the spacing between trees, the density of palm trees and the variety of date had to be commercial. The oasis community of Sidi Okba was thus forced to adapt and find clever ways to benefit from agricultural subsidies and thus preserve this ancestral agro-system. For example, some garden owners grouped themselves in associations so they could benefit from a tube-well subsidized

under a subsidy scheme, while others tinkered with administrative forms to benefit from private tube-wells. In addition, the ancient palm grove of Sidi Okba benefited from specific programs designed for traditional oases, such as construction of a piped system to reduce conveyance losses and deliver dam releases to the oasis in 1976, the construction of roads and tracks, and the improved rural electricity in the 1990s. Yet, the community of Sidi Okba turned down a state proposal to replace the old palm trees in the ancient palm grove with other more commercial varieties such as deglet nour.

5.3.2 Opening the Black Box to Understand Hybrid Agricultural Landscapes: Entanglement and Complexity

In reality, the ancient palm grove and the Tadjdid extension are both hybrid landscapes. We will show that the qualifiers used by policy actors for one specific landscape often apply to both landscapes through two examples related to groundwater use and to the logic of actors in both landscapes.

5.3.2.1 Groundwater use

Obtaining access to groundwater inside the palm grove by changing the irrigation infrastructure and institutions. The irrigation system in the ancient palm grove reflects local ingenuity and community adaptation. As the community faced a shortage of surface water, a new water resource – groundwater –, accessible through modern technology, was progressively integrated in the surface irrigation system based on existing knowledge and experience (fig. 25).

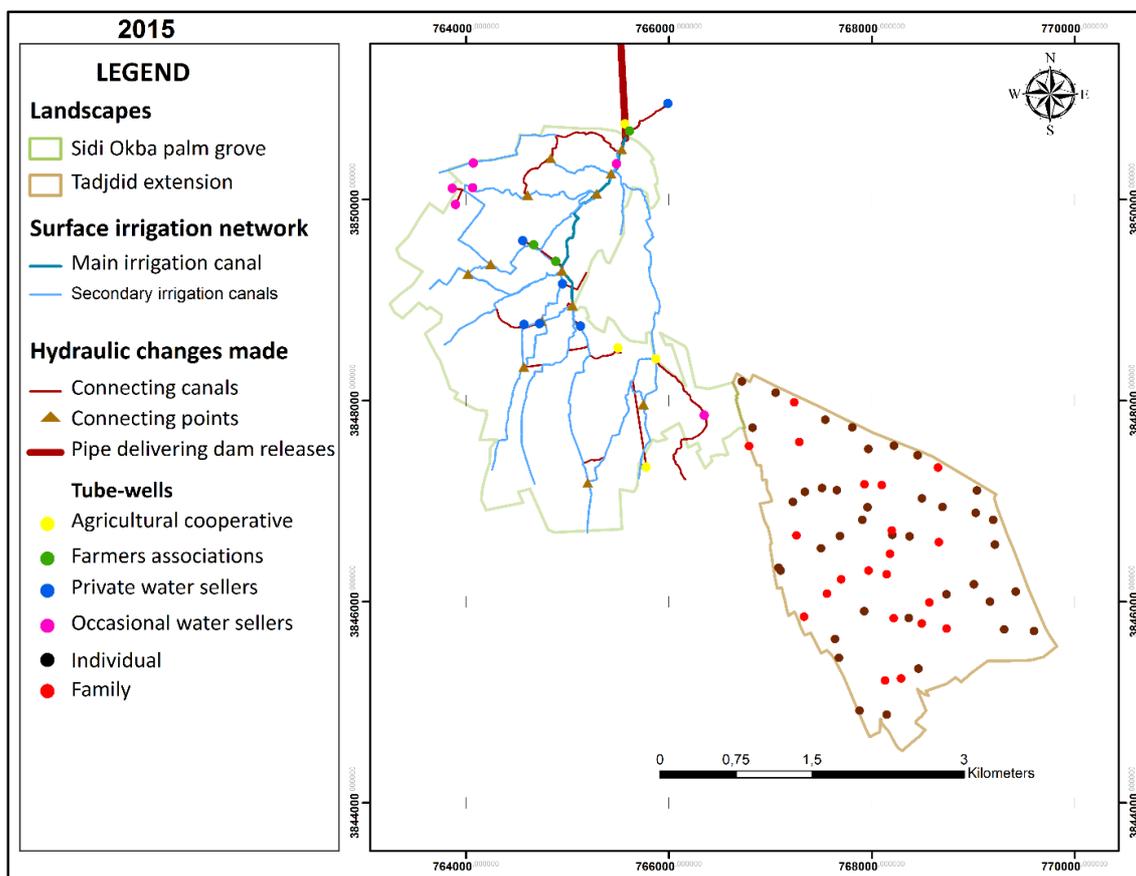


Figure 25. Hybrid irrigation systems

The irrigation community had to adapt the infrastructure and management to low water discharges (often 30-110 m³/h per tube-well for a total of 853 m³/h including 19 tube-wells) compared to the high water discharge of dam releases (2100 m³/h). Pumped groundwater was gradually integrated into the existing surface irrigation system and appropriated by Sidi Okba's irrigation community, creating a combined surface and groundwater system (see (Hamamouche et al., 2017b)). The first five deep tube-wells were installed by the state between 1979 and 1984 to alleviate the surface water crisis caused by severe droughts. The tube-wells were originally conceded to small groups of small garden owners before being re-appropriated by the Agricultural Cooperative that was already in charge of the management of surface water and the existing irrigation network, as the irrigation community wanted to obtain access to groundwater for the maximum number of users. This agricultural cooperative is a hybrid management structure involving the state and the community. It is under the authority of the Ministry of Agriculture, but farmers head it and the staff is comprised of members of the local community. The groundwater is distributed through the surface water network, but incorporating this new water resource was accompanied by adjustments to the infrastructure (see fig. 25) and to the management rules. A groundwater service market was introduced by the agricultural cooperative and was then extended to three informal groundwater providers: farmers associations, private water sellers and occasional water sellers (Hamamouche et al., 2017a). This service represents a break with the ancestral mode of water access by water rights and water turns. Interestingly, water rights are still operational during the dam releases (0-3 times a year). During the rest of the year, the groundwater service markets are the main way to access irrigation water: it ensures access to water by 70% of all users. Groundwater is thus not managed collectively, but the community ensures that all water users have access to groundwater. Moreover, the different social categories of irrigators take care not to rely on a single water provider. Instead, they prefer to be both water sellers and water buyers (Hamamouche et al., 2017a).

Collective action to gain access to groundwater in the Tadjdid extension. Outside the ancient palm grove, after the dam was constructed in 1950, the collective spate irrigation system declined and the lands that surrounded the ancient palm grove were abandoned. In such a hostile environment, water was the main limiting factor to production. Access to pumped groundwater revitalized the land, including that of the Tadjdid extension. The access to and use of groundwater has gradually evolved from family wells in the early 1980s to private wells, and, from the mid-1990s, mainly individual tube-wells, which are more conducive to crop diversification/intensification and individual initiatives.

Of the 60 private tube-wells identified, 39 are individual (fig. 25), i.e. the tube-well was financed by and belongs to the farm owner or was subsidized by the state in the framework of agricultural support policies in the 2000s. However, individual ownership does not systematically imply individual use. There are several individual tube-wells that provide water occasionally or even regularly for an agricultural season: a tube-well owner may help his neighbor when needed, or rent out one of his plots to a lessee belonging to the oasis community including access to the tube-well. The remaining 21 tube-wells are collective (fig. 25), with use mainly restricted to family members. There are two situations. In the first case, only the tube-well is a collective commodity, while the heirs have divided the land. For example, a family

farm with only one tube-well was divided among the heirs, or two cousins, each with a farm, who then decided to collectively invest in a tube-well. The distribution of water then follows a water turn between the members of the family who are directly concerned. In the second case, the members of a family, generally the heirs remain organized around a single undivided family farm and its tube-well. This shows that despite the collapse of the community spate irrigation system, due to a lack of surface water, and the development of new forms of market-oriented agriculture, local actors often find collective solutions to gain access to groundwater. Mutual aid and solidarity are part of community life inside and outside the old palm grove. The ancestral knowledge and know-how of the traditional oasis agriculture is drained to the new landscapes.

5.3.2.2 The economic and social logic of actors

The ancient palm grove: a social landscape with new economic actors. Perhaps surprisingly some new economic actors appeared in the ancient palm grove related to the sales of dates and to groundwater thereby connecting this landscape to the local economy.

First, the difficulty of marketing the dates of the gardens in the ancient palm grove is not only due to the dominance of common varieties of palm trees and the fact the gardens are so small (see fig. 24), but also to the organization of the farming systems. Oasis agriculture traditionally depended on the labor and knowledge of the former sharecroppers. After the emancipation of sharecroppers, the garden owners, especially those who were descendants of noblemen, became dependent on laborers, and still do not carry out most agricultural work themselves. A common complaint in most interviews, therefore, concerned the difficulty in finding laborers. The intermediaries who purchase the dates in the ancient palm grove are in a position of power in an already very economically difficult situation. Most date growers in the ancient palm grove prefer to sell their dates to intermediaries before the harvest for three reasons: 1) they have difficulty finding laborers, 2) they want to avoid spending money on the harvest, which costs 10 to 15 € for 4 hours by one laborer, and 3) they prefer to sell the entire annual harvest without the additional cost of cold storage. The intermediaries impose severe conditions: they only want to buy the *deglet nour* variety. They pay between 40 and 60 € per palm tree, depending on the yield and quality of dates compared with 80 to 100 € per palm tree, when the date grower sells his own dates on the market. Common date varieties are sold for between 10 and 20 € per palm tree and only when the owner has more than 100 palm trees in his garden. Otherwise, the intermediaries harvest these dates along with the *deglet nour*, but the owner receives nothing for them. This encourages some date growers not to pollinate anymore common palm trees varieties, thereby causing their decline or even their disappearance in the long-term.

Second, the irrigation community has become increasingly dependent on groundwater, over which they only had partial control. This prompted the community to take control of the state tube-wells in the 1980s. However, since 2000s new private tube-wells have been subsidized by the state. At first, the owners of the new tube-wells saw this as a social opportunity to provide groundwater for small garden owners, but then became aware of the economic opportunity represented by the sales of water (Hamamouche et al., 2017a). According to the owner of a small garden, “*I manage to get some income from agriculture when there are at least three dam releases a year. In a dry year, I do not even cover my agricultural expenses. Groundwater has become very expensive for us small date growers*”. According to another small garden owner:

“releases of surface water are for the poor and groundwater for the rich”. These two opinions explain the satisfaction of one of the biggest private water sellers: *“my tube-well is more profitable than my inherited garden”*. On the other hand, the water users also quickly understood the danger of becoming too dependent on specific water sellers. This explains why there are four overlapping water markets in the ancient palm grove, ensuring that in 60% of the surface area of the palm grove there is no monopoly of groundwater delivery.

The Tadjdid extension: an economic landscape with family farmers. Intensive farming concerned only a minority of inhabitants of Sidi Okba: 56 farmers in the Tadjdid extension, and more largely, approximately 400 farmers in the total surface area of the different extensions including Tadjdid. Although their agricultural income (average 6,000 €/ha/year, fig. 24) is considered very high locally, they are quite low compared to the farm income in nearby regions, which are based on entrepreneurial farming oriented towards intensive crops. For example the income from horticultural greenhouses in nearby municipalities varies from 54,000 €/ha/year in El Ghrouss to 90,000 €/ha/year in Mziraâ (Naouri et al., 2015), while the average income from date palms is 40,000 €/ha/year in Tolga and El Ghrouss, the epicenter of the *deglet nour* in the region of Biskra.

The farming systems in Tadjdid are based on family farming, inherited from traditional oasis agriculture. Capital, agricultural labor and the transmission process of the farm remain a family-oriented process. Three types of family organization can be observed in the farms in Tadjdid.

The first type is a family farm divided between the different heirs, while a spirit of solidarity and fraternity is maintained. On these farms, members of the family of different generations (from the grandfather to the grandson) are involved in farming. The farm is sometimes passed on before the death of the head of the family in order to avoid conflicts. In Tadjdid, the plots were often attributed to active heirs who already worked the land. Those who were not actively involved in agriculture often inherited plots in the ancient palm grove. This reveals the views of the community, in which land in Tadjdid provides income and the ancient palm grove proves social standing. The same applies to the female members of the family, who rarely inherited land in Tadjdid. However, even in Tadjdid the solidarity within the farm or between neighbors or cousins is pervasive. For example, Mourad (40 years) provided free access to land and to groundwater to his nephew so his nephew could work in the 10 greenhouses he owned thanks to agricultural subsidies.

The second type is a jointly owned farm whose active members remained united on the family farm, which was inherited or purchased collectively. Agricultural tasks are distributed between the family members, mainly the men. The income is not shared out among the active members, but pooled. This type of farm generally exists for as long as the head of the family is active on the farm. We found also one case of a joint farm that continued because the mother of the eldest active generation was still alive. The mother managed the farm and family expenses without having to ask for her sons' permission, but required their approval for high individual expenses. However, the future of such farms is uncertain and probably transitional. According to Said (65 years old), *“we continue just to please our old mother. After her death, we will share the family farm equitably”*.

The third type is one where family members are active in other economic sectors and are rarely present on the farm. The head of the family (generally the father or one of the sons) runs the farm but the (other) sons contribute part of their salaries to the family farm. At the end of the agricultural season and after accounting for future agricultural expenses, the family head decides on agricultural but also family investments (housing, weddings, cars, etc.).

5.3.3 Territorial continuity between the ancient palm grove and the new extensions

The continuities between the ancient palm grove of Sidi Okba and the Tadjdid extension are demonstrated by analyzing the three basic elements of territoriality (water resources, space and actors). We will show that 1) the actors are active in both landscapes, 2) they use the same water resource, and 3) they introduced in both landscapes the *deglet nour* date palm variety.

5.3.3.1 Actors are active in both landscapes

The involvement of farmers in both landscapes occurred through two distinct historical processes. On the one hand, some young farmers from Sidi Okba looked in the 1980's for economic opportunities in the new extensions. On the other hand, some farmers came back to the ancient palm grove for social recognition. This shows that both landscapes are complementary for farmers (figure 26).

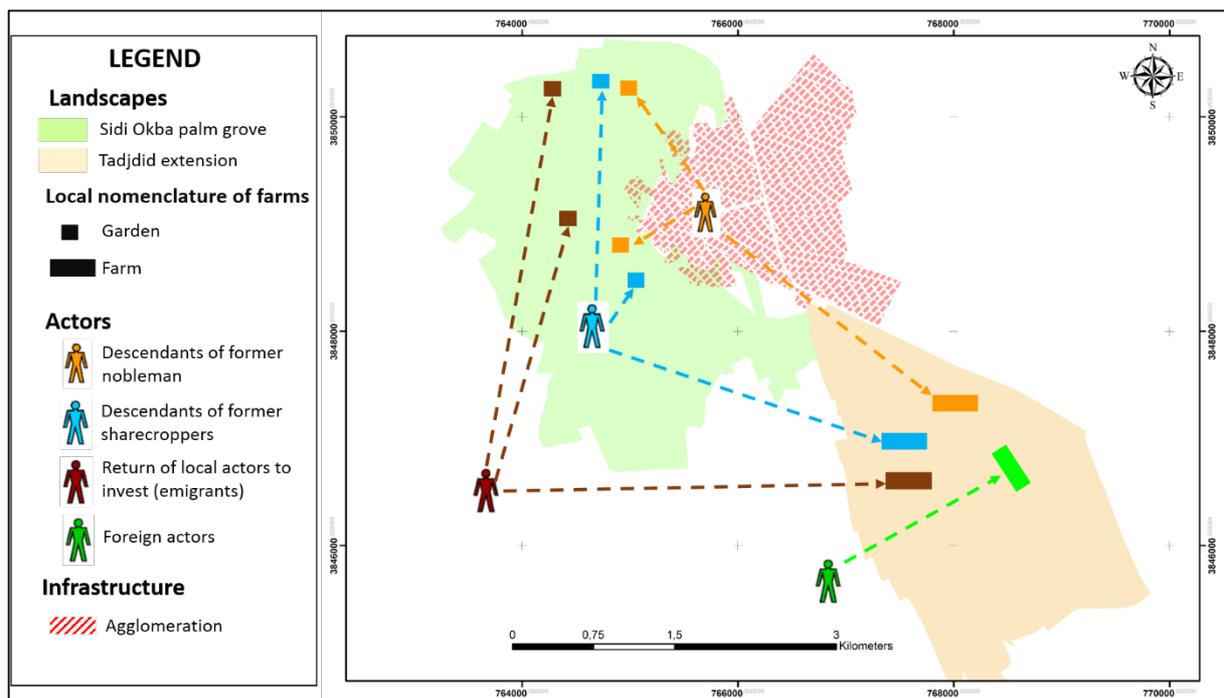


Figure 26. Geographical distribution of actors

Moving from the ancient palm grove to the Tadjdid extension in search of economic opportunities. The young people from the Sidi Okba community - descendants of the former sharecroppers and noblemen - occupied informally the land in Tadjdid during the period of political transition in the early 1980s. This was an opportunity for them to free themselves from the hierarchical ancestral structure and the agricultural constraints, and start market-oriented agriculture (Bisson, 2003; Hamamouche et al., 2015). This chain of revolutionary events at the

local level challenged the social hierarchy, which was traditionally based on inequalities in access to land, water, and to palm trees. The access to land and water resources in the extensions not only enabled the social ascension of former sharecroppers, but also – much later - provided opportunities for new investors from 1985 onwards. These new investors were either farmers from neighboring departments or natives of Sidi Okba - descendants of former noblemen and sharecroppers - who returned from international or national migration after the 1980s (see fig. 26). Of the 56 farms identified in Tadjdid, 20 (totaling 185 ha) belong to descendants of former sharecroppers, 19 farms (246 ha) belong to descendants of noblemen, and the remaining 17 farms (115 ha) belong to *Baranis* (foreigners to the community). Some descendants of the former sharecroppers sold the lands to these foreigners from 1985 onwards, either for financial reasons or due to conflicts between the ‘squatters’ on the same farmland. These investors are only present in the extensions. They are not interested in the ancient palm grove because they seek economic profitability and also it is much more difficult for outsiders to buy land in this patrimonial landscape.

Moving from the Tadjdid extension back to the ancient palm grove, a search for social recognition. The irony in the trajectory of both landscapes is that certain descendants of the former sharecroppers who have very profitable farms in Tadjdid returned to invest in the ancient palm grove by purchasing small gardens. In some cases, the income produced in Tadjdid finances the agricultural operations in the palm grove. Currently, the descendants of noblemen hold 60% of the farms in the ancient palm grove and the former sharecroppers hold the remaining 40%. However, these trends could be reversed in the near future. Such investments are not economically motivated, but are socially important. They are crucial for members of this socio-ethnic group who in the past were despised by the noblemen. Their investment thus masks three socially interrelated motives: 1) taking revenge on the past by buying the gardens on which their ancestors worked as sharecroppers, 2) social recognition of families towards the oasis community and 3) a socio-professional identity of a ‘real date grower’. According to descendants of the former sharecroppers “*even if you have 1,000 palm trees of deglet nour outside but your family name is absent in the palm grove, you are not a recognized date grower*”. Those who did not inherit a garden, consequently seek to procure one, mainly in association with the members of their family who remained in the ancient palm grove.

5.3.3.2 Actors rely increasingly on the same (ground)water resource

Up till the 1980’s the ancient palm grove relied mostly on surface water. In the ancient palm grove, irregularity of water releases from the Foug El Gherza dam mainly due to droughts and dam siltation, prompted the irrigation community to turn, from the 1980s onwards, towards groundwater which was deemed more reliable. In recent years, groundwater accounted for 80-100% of the water used for the irrigation of palm trees, depending on the years (Hamamouche et al., 2017b). This surface water crisis also caused the collapse of the spate irrigation system which used to provide water to the lands surrounding the ancient palm grove, including the Tadjdid area. The introduction of new pumping technology allowed the oasis community to renew these landscapes by developing a market agriculture based exclusively on access to groundwater through tube-wells. Both landscapes, therefore, now rely on the same water resource, i.e. the little-renewable groundwater resource.

5.3.3.3 Patchwork landscapes: the extension of the *deglet nour* on the outskirts of the palm grove, diversified farming in the extensions

The commercial date palm variety *deglet nour* was introduced in the ancient palm grove in the 1940s but extensively as intensification was not possible due to lack of space. However, on the outskirts of ancient palm grove, whenever water was available, intensification was possible (fig. 27).

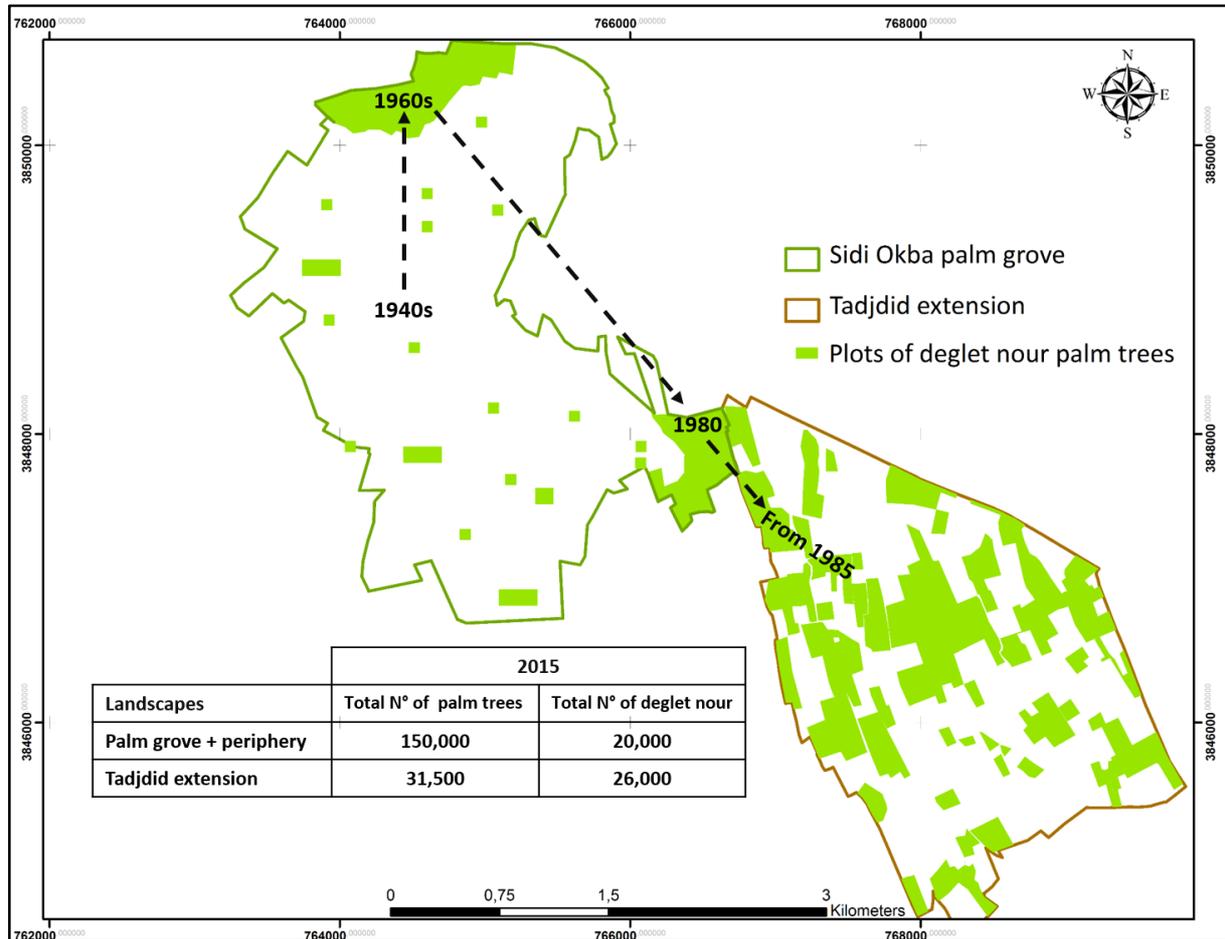


Figure 27. Process of intensification of the *deglet nour* palm trees variety

The first opportunity arose in the 1960s and farmers planted about 43 ha of *deglet nour* at the periphery of the palm grove, upstream of the irrigation system, using leakage water from the Foug El Gherza dam. The second opportunity occurred 20 years later, when access to groundwater became available thanks to agricultural subsidy programs aimed at reviving Saharan agriculture during the period of political transition in the 1980s. New modern palm groves oriented towards monoculture of *deglet nour* were installed at the periphery, this time downstream of the ancient palm grove (28 ha), thereby constituting an extension in continuity. In 2015, we estimated the number of commercial palm trees of the *deglet nour* variety inside the ancient palm grove and at the periphery at 20,000 out of a total of 150,000 palm trees (13%; fig. 27).

A third opportunity arose in the 1980s on land previously irrigated by spate irrigation, for example, in the Tadjdid extension. After informally occupying these lands, the farmers combined *deglet nour* palm trees and field crops (horticulture, pulses, and cereals), greenhouses

and fruit trees, in contrast to the mono-cropped plantations on the periphery of the ancient palm grove (fig. 27). This crop diversification took place at the same time as access to pumped groundwater, and intensified in the 2000s with agricultural subsidies granted under the PNDA. Interestingly, the farming systems form the basis of a more family-based agriculture. Despite all the production factors (land, water and capital) required to develop an entrepreneurial agriculture, farmers preferred to develop a 'remake' of traditional oasis agriculture. Thus, the agriculture practiced in the Tadjdid extension renews with the past through diversified family-based agriculture, but farmers introduced some modern touches, including access to pumped groundwater and the use of inputs that allow them to generate more profits. Even if the introduction of *deglet nour* was part of an intensification program, the farming systems in Tadjdid extension remained largely organized around the traditional farming systems, aside from the fact they were market oriented. This proves that the agricultural dynamics outside the ancient palm grove were by and large supported by the peasantries of Sidi Okba, which like elsewhere in the Sahara are known for “*their attachment to the land, their laborious traditions, their know-how capitalized for generations*” (Côte, 2002: 13).

5.4 Discussion

5.4.1 New interpretation of agricultural realities in the Algerian Sahara

In the present study, we used binaries to understand the dualistic agricultural policies of the Algerian Sahara - preservation of traditional irrigation systems and palm groves and economic expansion in the ‘virgin’ Saharan spaces. They were equally helpful as rhetorical devices, stimulating our curiosity to go beyond such simplifying qualifications by considering them as components of more complex and dynamic processes. Finding the modern in the traditional, the global in the local or the economic in the social in the agricultural landscapes was a powerful stimulus from a methodological point of view. The confrontation of the two Saharan agricultural models – traditional oasis subsistence agriculture and modern market-oriented agriculture in the extensions -with the empirical results highlighted the fallacies of binarism, in particular the lack of knowledge concerning the complexity of landscapes and underestimation of the processes of change that occur even in what was qualified as a traditional oasis (see Rudolph and Rudolph, 1984, for a discussion on the modernity of tradition). This confrontation thus contradicted the dichotomous view of these landscapes and drew our attention to the continuous transformation of landscapes through “*economic change, environmental uncertainty, and grassroots resistance*” (Molle et al., 2012: 452). This is in line with observations by Peterson (2012), who pleads for a hybrid move away from what have come to be seen as unhelpful binaries, such as modern versus traditional, Western versus non-Western. Hall (1991) used the concept of articulation instead of hybridity to define the forms of connection that allow interactions between two dichotomous elements under certain conditions. The use of the concept of hybridity was crucial to obtain a new reading of the oasis, thus contradicting the dichotomous view of the ancient oasis and the modern extensions. Both dynamic and complex landscapes reflect the “*multiplicity of historical-geographical relations and processes*” (Swyngedouw, 1999: 445), as we have shown in our historical analysis of the oasian landscapes. The analysis of interactions between the two landscapes, which at first glance appear to be deeply opposed in terms of the access to and management of water and

agricultural dynamics, revealed new elements to help understand the territorial development in the Algerian Sahara, including the continuities between the ancient oasis and the new landscapes.

The results of this case study showed that in reality the ancient palm grove of Sidi Okba and their extensions are complex and hybrid, combining traditional and modern knowledge, economic and social logic, state intervention and community ambitions and individual and collective actions. Complex situations can thus only be clarified when the dichotomous binaries are tackled as a connected pair, and not as opposed entities, traditional *and* modern, natural *and* social: “*the principle of modernity acts while recovering what tradition can provide*” (Raffestin and Bresso, 1982: 191). This suggests that there is no barrier between the two landscapes of our case study but a hybridization that depends on the economic and social logic of actors and on farmers’ (everyday) practices.

The debate around hybridity (or coexistence) between the ancient and the modern goes along with the fundamental debate on the relationship between capitalism and forms of non-capitalist economies (Le Velly, 2007). The question is: does capitalism destroy forms of non-capitalist economies or, on the contrary, does it require them to develop? Like other Saharan agro-pastoral communities, economic adaptive processes are embedded in their social organization, in the institutional and local context and in the ability of certain actors to adopt new agricultural activities (Alary et al., 2014). In our study, the local actors mobilized different reference frames (traditional, modern, local, global) to achieve their individual, family, or community interests depending on the geographical location of their plots or farms. The new extensions are thus a new version of the oasis that is better adapted to globalization but in continuity with the ancient oasis. Local actors developed family-based diversified farming systems on the new extensions, which can be contrasted to the entrepreneurial mono-cropped plantations planned in state policies. This territorial continuity is often ensured by the same actors but with different underlying economic and social logics in the two landscapes, making it a single and same territory.

5.4.2 Local Initiatives by Oasis Communities Inspired by State Policies

Given the abundant resources (land, oil and groundwater) in the 1970s, the state’s ambition to make the Algerian Sahara a leading center of agricultural development was based on an ‘agribusiness’ model that involved great economic and environmental risks like in other countries in the MENA region (Libya, Saudi Arabia; Brown, 2012). Although this attempt failed, the agricultural development project raised the awareness of oasis communities about existing opportunities and inspired a wide range of local initiatives. Instead of remaining passive subjects of the state project, they took the initiative of developing new forms of agriculture at a local scale and, at first, often illegally (Hamamouche et al., 2015). To benefit from economic development, the oasis communities were obliged to innovate and adapt by locally re-appropriating the ideas and transformations launched at more global levels by enhancing their own ability to adapt and innovate (Bendjelid et al., 2004) and thus co-steering development trajectories (Bebbington et al., 2008) through a *creatio ex materia*. This is how the oasis communities dealt with global change at the local level, leading to hybridity in terms of water access, farming systems and even transforming the underlying logic of these farming

systems. In our case, the commercial *deglet nour* date palm variety was re-introduced in diverse, multi-layered farming systems in order to attenuate risks, but also to provide opportunities for different members of the (extended) family. Similar innovation capacities have been documented in other regions in the Algerian Sahara. A striking example is the reinvention of artisanal pivots to irrigate potato crops in El Oued, which were inspired by the imported large-scale pivots (Bensaâd, 2011; Rebai et al., 2017), and farmer-led adaptations of drip irrigation systems in greenhouse horticulture in Biskra (Naouri et al., 2015).

However, the state used the water resource as a tool for intervention and planning of the economic development of the Sahara (Bensaâd, 2011). Large amounts of groundwater were dispersed in the arid regions of MENA, causing spatial mutations, and sometimes causing sanitary and ecological crises, as was the case in the regions of Oued Souf, Touggourt and Bechar in the Algerian Sahara (Bisson, 2003; Côte, 1998), and in Jordan (Mustafa et al., 2016; Van Aken et al., 2009). Confronting these crises, oasis societies have repeatedly demonstrated their adaptation and innovation capacity (Bendjelid et al., 2004). In our case study, in the face of increased surface water scarcity the irrigation community adapted the irrigation infrastructure and the irrigation institutions of the ancient palm grove in order to incorporate groundwater pumped into the collective irrigation network and thus ensure a supply of water to the greatest possible number of users. In contrast, in oases served by foggaras (called *qanats*, *karez* or *falaj* elsewhere, i.e. subsurface channels engineered to collect water from the aquifer and distribute it to an oasis, Lightfoot, 1996), the excessive use of pumped groundwater caused several foggaras to dry out, thereby endangering an entire socio-cultural heritage (Kassah, 1998; Remini et al., 2011). These cases show that when pumped groundwater is used individually with no state or community control, it can impede territorial development.

5.5 Conclusion

Agricultural development in the Algerian Sahara is the result of a combination of political ambition and local initiatives. The policy and local actors share similar market-oriented goals, but have a very different agrarian attitude. A meticulous process analysis of this agricultural development clearly showed that in a number of cases, private and informal initiatives come first. The most striking example is that of the spontaneous and informal occupation of land in the late 1970s. The 1983 land reform was enacted to both regularize informal situations and to tempt young people and the unemployed to try the adventure of desert agriculture (Côte, 2005). The Tadjdid extension in our study is a good example of local and often informal initiatives that were subsequently formalized through laws. This case study showed that the development of the Tadjdid extension, which was not planned in advance by the state, was inspired by, but did not benefit directly from large-scale state projects such as large-scale pivots or modern palm groves. The farmers consequently re-appropriated a more general political discourse from the socialist era (“*the land to those who work it*”) in a more liberal context, by putting into practice a new agricultural development model, based on pumped groundwater, high value crops and ancestral knowledge.

The actors behind this case study considered the ancient oases and the new extensions as interconnected with many continuities, and thus as a single territory. A policy perspective of this type is important to promote the integrated agricultural development of the Sahara. It

acknowledges both the economic prowess of market-oriented agriculture and the rich cultural and agricultural patrimony of the ancient oases. Agricultural development in the Algerian Sahara not only allowed the oasis population to climb the social ladder but also reversed the exodus by attracting young men from the north towards this “*Eldorado of sands*” (Bisson, 2003: 233). This agricultural development also provided the state and economic actors with new economic opportunities. Ensuring sustained territorial development will require reflection, regulation and action by the state, the communities and investors. This is particularly important because the favorable economic context enabled population growth, but depends on natural resources that are little-renewable. More than elsewhere, the issues of preservation of natural resources and the question of the sustainability of agricultural development in the Algerian Saharan that are dependent on them arise. The hybrid form of agriculture in the extension – a remake of traditional agriculture with a touch of modernity and oriented toward the market, could inspire a more sustainable Saharan agricultural model, in symbiosis with the environment and with society.

Chapitre 6

Conclusion générale

Chapitre 6. Conclusion générale

La question du devenir des systèmes irrigués communautaires face à la « modernité », débattue dans la littérature, a sous-tendu ce travail de recherche qui s'est focalisé sur un territoire oasien. Ce territoire – Sidi Okba dans le Sahara algérien - est caractérisé par des espaces irrigués distincts (ancienne palmeraie, nouvelles extensions), mais fortement connectés, empruntant chacun aux couples modernité-tradition, local-global, social-économique, État-communauté, etc.

De par le monde, l'introduction de technologies modernes de pompage avec un accès aisé et privé à l'eau souterraine a permis le développement de nouveaux espaces irrigués et la transformation des espaces déjà irrigués tels que les périmètres irrigués publics ou communautaires (Bouarfa et Kuper, 2012 ; Kuper et al., 2012 ; Margat et Van der Gun, 2013). Le développement d'une agriculture intensive en lisière voire au sein même de ces périmètres remet en question leur fonctionnement et même leur durabilité à moyen et long terme. Cette agriculture vient empiéter sur les ressources exploitées comme un bien commun par les agriculteurs dans ces systèmes irrigués (Dubost et Moguedet, 1998 ; Pérez et al., 2011). Il s'agit de la ressource en eau dans des périmètres où l'eau souterraine est exploitée en commun (forages collectifs, sources, systèmes à *foggara*), mais aussi de la terre puisque le prix de la terre augmente souvent quand l'agriculture s'intensifie. Cette agriculture « moderne » attire aussi les agriculteurs les plus dynamiques, drainant des compétences des périmètres collectifs. De façon plus générale, de par la logique économique de ces nouvelles formes d'agriculture, celles-ci accroissent les vulnérabilités socio-économiques, écologiques et environnementales des systèmes irrigués communautaires (Pérez et al., 2011). Dans certains cas, bien documentés, l'exploitation intensive des eaux souterraines par le biais de la motopompe dans les nouveaux espaces irrigués, a accéléré le déclin ou même l'effondrement des systèmes irrigués communautaires qui mobilisent la même ressource en eau sans pompage (Dubost et Moguedet, 1998 ; Pérez et al., 2011 ; Remini et Achour, 2008). Par exemple, quand des motopompes sont installées à proximité des zones de captage des *foggaras* ou des sources d'eau, la baisse de la nappe intervient trop rapidement pour que la communauté puisse se réorganiser (*ibid.*).

Un grand nombre d'observateurs ont vu des menaces dans la juxtaposition des agricultures et des dispositifs hydrauliques traditionnels et modernes (Dubost et Moguedet, 1998 ; Pérez et al., 2011). L'arrivée de la modernité dans des territoires abritant des systèmes irrigués communautaires a soulevé des doutes quant à la capacité de résilience de ces systèmes lorsque la modernité vient se greffer sur le traditionnel. Dans le contexte oasien, la tension entre la tradition et la modernité a été soulevée au début des années 1990 par Jean Bisson (1992), quand il interrogeait le discours dominant autour du déclin des *foggaras* et montrait que la motopompe pourrait venir « épauler » ces systèmes irrigués, assurant ainsi un renouveau de la *foggara*. D'après ce grand connaisseur des *foggaras*, « *c'est une erreur de raisonner comme si l'irrigation par foggara représentait un système figé, donc condamné à disparaître. Tout état présent n'est en réalité qu'une étape dans un processus évolutif qui peut s'étaler sur des siècles* ». Ainsi, les travaux de Jean Bisson nous ont incités à recontextualiser d'une manière plus générale la question du déclin ou du renouveau des systèmes irrigués communautaires face à la modernisation. À notre sens, le regard - figé ou évolutif - que portent les différents observateurs envers ces systèmes irrigués, explique la divergence des débats sur leur devenir. Il est vrai que la modernisation peut accentuer le déclin d'un système irrigué (Dubost et

Moguedet, 1998 ; Pérez et al., 2011). En revanche, en considérant le périmètre irrigué comme un système « vivant », la modernité peut aussi contribuer à sauver ces systèmes irrigués communautaires (Bisson, 1992 ; Swyngedouw, 1999).

La foggara n'est pas le seul système hydraulique qui a apprivoisé la modernisation. De par le monde, des technologies modernes d'irrigation (forages, pompes immergées, goutte à goutte, etc.) ont été greffées sur des systèmes irrigués traditionnels datant de plusieurs siècles, à l'instar de la *huerta de Valencia* (Ortega-Reig, 2015). L'intégration de la technologie de pompage, comme un moyen d'exhaure d'une ressource en eau complémentaire, dans des systèmes irrigués communautaires et aussi dans les périmètres publics, s'est largement diffusée au cours de ces dernières décennies un peu partout dans le monde (Bisson, 2003, 1992 ; Kuper et al., 2009 ; Ortega-Reig, 2015 ; Palanisami et al., 2010 ; Van Der Kooij, 2016). Dans la région de Biskra en Algérie par exemple, sur l'ensemble des 59 anciennes palmeraies recensées, des forages équipés en pompes immergées ont été greffés sur les systèmes irrigués traditionnels afin de compenser le déficit des principales ressources en eau mobilisées (sources d'eau, dérivation de l'eau de l'oued, eaux de lâchers et eaux de fuites du barrage, forages artésiens ; MRE, 2009).

Face aux nouveaux enjeux auxquels les systèmes irrigués communautaires sont confrontés à l'intérieur comme à l'extérieur de leurs espaces irrigués, nous avons voulu renouveler le regard sur la façon dont ces systèmes s'emparent de la modernité. Quand les débats internationaux s'intéressent généralement soit aux nouveaux espaces irrigués ou bien aux plus anciens, en les considérant inévitablement comme distincts, l'originalité de notre recherche était de considérer ces deux espaces irrigués (ancien et modernes) comme appartenant à un même territoire avec un grand nombre de continuités. Loin de l'image d'un système dual entre une agriculture « moderne » dans les nouveaux espaces irrigués et une paysannerie « traditionnelle » marginalisée à l'intérieur de l'ancien espace irrigué, nous avons mis en évidence une imbrication de ces espaces irrigués hybrides. Chacun de ces deux espaces irrigués qui forment le territoire oasien comporte à la fois du traditionnel et du moderne, du social et de l'économique, du local et du global, de l'étatique et du communautaire. Ces derniers s'expriment sous différentes formes d'hybridités et à différents degrés d'implication. À travers cette thèse, nous proposons d'élargir les travaux de Jean Bisson sur le renouveau des systèmes hydrauliques oasiens traditionnels et ceux de Marc Côte sur le renouveau de l'agriculture saharienne sur les nouveaux espaces irrigués, en questionnant ce renouveau à l'échelle d'un territoire oasien dans toutes ses formes de complexité, en reconnaissant les hybridités et les particularités de chaque espace irrigué, ainsi que les interactions existantes entre les systèmes traditionnels et les systèmes modernes.

6.1 D'un système irrigué communautaire traditionnel vers deux espaces irrigués hybrides et interconnectés

L'origine de cette problématique de thèse réside dans la curiosité envers les contrastes du territoire oasien de Sidi Okba qui ont été exprimée par Marc Côte lors de ma première visite à Sidi Okba : la cohabitation de plusieurs ressources en eau de surface et souterraine mobilisées dans un même réseau d'irrigation collectif et la juxtaposition de deux formes d'agriculture

saharienne, à première vue, opposées. Progressivement, trois perspectives de recherche ont été formulées pour comprendre ces dynamiques contrastées :

- l'utilisation conjuguée de plusieurs ressources en eau de surface et souterraine à l'intérieur de l'ancienne palmeraie qui est agencée autour d'un système irrigué communautaire ;
- la transition du système irrigué communautaire en dehors de l'ancienne palmeraie, basé sur l'épandage des eaux de crue, vers un système irrigué plus moderne basé sur l'accès privé par des forages à l'eau souterraine ;
- les continuités et les ruptures entre l'agriculture oasisienne traditionnelle pratiquée à l'intérieur de l'ancienne palmeraie, et celle de marché pratiquée en dehors sur les nouveaux espaces irrigués fondés sur l'accès à l'eau souterraine.

Ces trois perspectives de recherche reflétaient bien la problématique de départ qui consistait à analyser les transformations relatives à l'irruption de technologies modernes d'exploitation des eaux souterraines profondes. Toutefois, la venue de cette eau dans ce territoire oasisien, en difficulté avec la crise de l'eau de surface, a participé activement à transformer et à diviser son système irrigué communautaire de surface en deux espaces irrigués. D'un côté, l'organisation collective a été maintenue à l'intérieur de l'ancienne palmeraie tout en développant une utilisation conjuguée de plusieurs ressources en eau de surface et souterraine. De l'autre côté, l'organisation collective autour de l'irrigation par épandage des eaux de surface a été transformée en irrigation privée basée sur l'accès à l'eau souterraine plus propice au développement de nouvelles formes d'agricultures de marché dans de nouveaux espaces irrigués.

À partir de là, il a fallu repenser notre problématique de recherche en mettant l'accent sur le rôle de la modernité technologique dans le renouvellement de l'ensemble du système irrigué communautaire du territoire oasisien de Sidi Okba après l'effondrement de son système d'épandage de crue. La question de recherche a été formulée comme suite : « *Comment l'irruption des technologies modernes d'exploitation des eaux souterraines profondes a-t-elle transformé le système irrigué communautaire d'un territoire oasisien ?* ». Le pari de cette recherche était de porter un nouveau regard sur le renouveau des systèmes irrigués communautaires à l'ère de la modernisation et de la mondialisation économique à travers l'analyse des transformations à l'échelle d'un territoire oasisien, dans toutes leurs formes de complexité et adaptabilité à l'intérieur comme à l'extérieur de l'ancien espace irrigué. Pour cela, il fallait reconnaître les hybridités et les ruptures et continuités existantes entre les systèmes traditionnels et les systèmes modernes.

6.1.1 Les nouveaux espaces irrigués, la capacité de renouveau après l'effondrement du système d'épandage de crue

Les transformations politiques et économiques rapides, l'extension des terres irriguées et l'évolution des technologies hydrauliques au cours du dernier siècle ont mis en difficulté les systèmes irrigués communautaires de par le monde. Les systèmes les plus documentés sont ceux des *tanks* en Inde (Mosse, 1999, 1997), des *khuls* en Himalaya (Baker, 2005, 2004), des *qanats* appelés communément *karezses*, *foggaras* ou *khettaras* dans la région du MENA (Dubost

et Moguedet, 1998 ; Farshad et Zinck, 1998 ; Lightfoot, 1996 ; Mustafa et Qazi, 2007 ; Van Steenbergen, 1995 ; van Steenbergen et Oliemans, 2002), des systèmes irrigués par épandage des eaux de crue (Lawrence et Van Steenbergen, 2005) et par des sources d'eau (Pérez et al., 2011). Dans notre cas d'étude, le système irrigué d'épandage de crue qui se pratiquait à l'intérieur et en lisière de l'ancienne palmeraie de Sidi Okba, a été fragilisé progressivement au fur et à mesure des transformations politiques - hydrauliques et agraires - opérés durant la deuxième moitié du 20^{ème} siècle. Les principales transformations sont : la construction du barrage de Foum El Gherza en 1950, la nationalisation des terres collectives dans le cadre de la Réforme Agraire 1971 et le remplacement du canal d'amenée des eaux de lâchers du barrage en une conduite souterraine en 1976. Cette dernière intervention étatique a marqué le point de non-retour de l'épandage des eaux de surface entraînant l'effondrement de ce système d'irrigation, mais non de l'agrosystème qui lui est associé. Ce dernier a connu un renouveau avec l'accès à l'eau souterraine.

Dans la littérature, le terme effondrement revient dans la plupart des études pour dénoncer le déclin des systèmes irrigués communautaires suite à la confrontation de ces systèmes à la modernité. Rares sont les études qui voient en ces transformations, une opportunité de renouvellement des systèmes irrigués communautaires afin d'éviter la disparition de l'ensemble de l'agrosystème dont dépend la subsistance des communautés locales (Bisson, 2003, 1992 ; Ortega-Reig, 2015 ; Van Der Kooij, 2016). Dans la partie qui suit, nous allons illustrer la possibilité d'un renouveau agricole après l'effondrement d'un système irrigué traditionnel.

La transition politique d'un État socialiste vers un État libéral, qui est survenu à partir des années 1980, couplé au déverrouillage de l'accès à l'eau souterraine et à la terre dans une vision de développement du « sud » ont représenté pour bon nombre de jeunes oasiens dans le Sahara algérien la porte de sortie d'un système oasien jugé contraignant (hiérarchies sociales, morcellement des parcelles, conflits d'héritage), et une opportunité plus propice aux initiatives individuelles (Bensaâd, 2011). À Sidi Okba, certains jeunes oasiens en quête de reconnaissance sociale et à la recherche de nouvelles opportunités économiques ont profité de la confusion politique survenue après le décès du président Boumediene en 1978 pour coloniser informellement les terres précédemment nationalisées sur lesquelles se pratiquait la céréaliculture irriguée par épandage des eaux de crue avant l'effondrement de ce système irrigué. Cette colonisation informelle s'est faite par la force et par les descendants des anciens *khammès* (métayers phoenicoles) ayant un statut social inférieur, suivie des descendants des *asliîn* (nobles) ayant un statut social supérieur. Chacun des deux groupes socio-ethniques se considérait plus légitime pour occuper les terres nationalisées. Le groupe des descendants des anciens *khammès* se référaient au discours de l'ancien président Boumediene qui reprenait le fameux slogan « *la terre revient à celui qui la met en valeur* » dans le but de s'émanciper socialement. Tandis que les descendants des *asliîn* se référaient à leur possession historique de la majorité des terres collectives avant que celles-ci soient nationalisées. Ces confrontations ont abouti à une composition hétérogène d'agriculteurs appartenant aux deux groupes socio-ethniques sur les nouveaux espaces irrigués.

La conjugaison d'ambitions politiques et d'initiatives des sociétés locales a participé à accélérer le processus de transformations socio-spatiales et socio-économiques du Sahara en développant

une agriculture irriguée sur de nouvelles frontières de l'eau (Côte, 2002). Autour des anciennes palmeraies se sont greffées de nouvelles formes d'agriculture saharienne orientées vers le marché (Khiari, 2011). Cette agriculture de marché se caractérise par de grandes exploitations agricoles, un accès privé à l'eau souterraine et des systèmes de production diversifiés : palmiers de variété *deglet nour*, céréales, légumineuses, maraîchage de plein champ et sous serres (Amichi et al., 2015 ; Khiari, 2002 ; Otmane et Kouzmine, 2013). Au premier regard, l'agriculture de marché pratiquée sur les nouveaux espaces irrigués apparaît en rupture avec l'agriculture oasienne traditionnelle. Toutefois, en s'y intéressant de plus près, on constate que dans les nouveaux espaces irrigués du territoire de Sidi Okba, cette agriculture est basée sur une organisation familiale héritée de l'agriculture oasienne traditionnelle et sur une entraide mutuelle entre les agriculteurs, et que ces derniers conjuguent la modernité et la tradition dans les pratiques agricoles et d'irrigation. Malgré la possession de tous les facteurs de production (terre, eau et capital) nécessaires pour développer une agriculture entrepreneuriale, les agriculteurs présents dans les nouveaux espaces irrigués ont préféré développer un 'remake' de l'agriculture oasienne traditionnelle avec une touche de modernité qui leur permet de générer des bénéfices agricoles. Ceci valide l'hypothèse de Jean Bisson (2003) que le renouveau agricole est largement soutenu par les « *réserves paysannes* » d'une population s'inscrivant dans la durée sur les territoires oasiens. Dans le même sens, Côte (2002) expliquait que les communautés oasiennes ont la capacité d'associer « *tradition et innovation, sagesse paysannes et ouvertures aux modernes* ». À Sidi Okba, l'agriculture paysanne développée dans les nouveaux espaces irrigués a ressuscité, en quelque sorte, les principes sociaux et collectifs du système irrigué de l'épandage de crue, mais sous différentes formes et échelles d'organisation familiale et sur une nouvelle ressource en eau. Ceci montre qu'un effondrement d'un système irrigué communautaire n'est jamais radical lorsque la communauté concernée est attachée à son territoire et que celle-ci prend les rênes du renouvellement de son système à travers les opportunités et les changements qui s'offrent à elle. L'irruption de technologies modernes d'exploitation des eaux souterraines profondes dans les terres de l'ancien système d'épandage de crue a produit bien plus que des opportunités économiques avec le renouveau agricole. Elle a eu des incidences sur la recomposition de la société locale à l'extérieur comme à l'intérieur de l'ancienne palmeraie de Sidi Okba au cours de ces quatre dernières décennies. Ces transformations sociales se traduisent par l'ascension sociale des descendants des anciens *khammès* à travers l'acquisition des principaux facteurs de production (terre et eau), et par l'ouverture sur de nouveaux investisseurs originaires ou non de la région.

6.1.2 L'ancienne palmeraie, le renouveau d'un système irrigué communautaire ?

Dans la littérature, quelques rares recherches ont montré que le renouvellement des systèmes irrigués communautaires par le biais de la combinaison des pratiques d'irrigation traditionnelles et des technologies modernes d'irrigation, peut non seulement sauver l'agrosystème d'un effondrement probable, mais peut également redynamiser l'agriculture pratiquée en renforçant sa compétitivité et efficacité économique, tout en accompagnant la reconfiguration des relations sociales (Bisson, 2003 ; Ortega-Reig, 2015 ; Van Der Kooij, 2016). Ces travaux sont relativement minoritaires face à d'autres montrant le déclin (inévitabile) des systèmes irrigués communautaires, en particulier face à l'arrivée des motopompes et l'individualisation de l'accès

à l'eau (Dubost et Moguedet, 1998 ; Pérez et al., 2011). Dans notre cas d'étude, l'irruption de technologies modernes d'exploitation des eaux souterraines profondes dans le système irrigué de surface de l'ancienne palmeraie de Sidi Okba avait d'abord un objectif très pratique : faire face à la pénurie d'eau de surface provoquée par les sécheresses et l'envasement du barrage. Progressivement, la communauté a profité de l'arrivée de cette nouvelle ressource en eau souterraine pour renégocier son rôle dans la gestion de l'eau par rapport à l'État et pour redistribuer les cartes sociales en ce qui concerne l'accès et la gestion de l'eau et de l'organisation collective du système entre les différents groupes socio-ethniques.

Ce qui est intéressant dans notre étude de cas par rapport aux rares travaux qui ont montré le renouvellement des systèmes irrigués communautaires est le retour de la communauté vers l'ancienne palmeraie. Malgré les opportunités économiques que représente le renouveau agricole dans les anciennes terres d'épandage de crue, et malgré les contraintes inhérentes à l'exploitation dans l'ancienne palmeraie (morcellement des parcelles, conflits d'héritage, dominance des variétés locales peu rémunératrices sur le marché), certains descendants des anciens *khammès* sont revenus, au cours de ces dernières décennies, à l'intérieur de l'ancienne palmeraie en investissant dans de petits jardins. L'acquisition de jardins phoenicicoles, et donc de deux facteurs de production (terre et palmiers) qui leur été difficilement accessible par le passé, était animée d'un désir de revanche sociale.

En parallèle de ce retour, les descendants des anciens *khammès* devaient impérativement faire sauter le verrou 'eau' et adhérer à la gestion du système irrigué pour mettre fin aux inégalités socio-ethnique d'accès à l'eau. Dans un milieu aussi hostile et rude que le Sahara, l'eau représente « *le premier élément dans la hiérarchie des facteurs de production* » (Kouzmine et Avocat, 2007), et par conséquent, son accès représente un enjeu de pouvoir qui suscite des tensions et des antagonismes au sein des systèmes irrigués communautaires. L'introduction d'une nouvelle ressource constitue donc une occasion que vont saisir différents groupes sociaux et économiques pour se (re)positionner. Les jeux de pouvoir entre les différents groupes socio-ethniques, couplés aux interventions étatiques à travers les subventions agricoles (forages), ont façonné quatre marchés formels et informels de service d'eau souterraine impliquant de multiples fournisseurs d'eau et acheteurs appartenant aux différents groupes socio-ethniques, qui coexistent dans un même espace irrigué. Les quatre groupes fournisseurs d'eau souterraine sont : une coopérative agricole formelle sous la tutelle de l'État, trois associations informelles d'agriculteurs, six vendeurs informels d'eau privés et six vendeurs informels d'eau occasionnels. Toutefois, ces marchés informels de service de l'eau sont régulés en quelque sorte par l'importance du marché de l'eau contrôlé par la coopérative agricole. L'apparition progressive de ces vendeurs dont les forages sont dispersés dans l'espace irrigué a empêché l'émergence d'un monopole dans l'approvisionnement en eau du réseau d'irrigation, en contrecarrant le contrôle possible de l'accès à l'eau souterraine par un seul groupe socio-ethnique ou économique. L'introduction des eaux souterraines dans un tel système a permis de renouveler les relations sociales en empêchant la reproduction des inégalités d'accès à l'eau et du statut de seigneur de l'eau du passé.

L'intégration de la modernité en elle-même dans de tels systèmes, qui incarnent des relations sociales complexes et antagonistes, n'est pas une tâche facile. La rencontre des pratiques d'irrigation traditionnelles et des technologies modernes dans les systèmes irrigués communautaires nécessite des adaptations à la fois institutionnelles et matérielles (Cleaver,

2012 ; Cleaver et De Koning, 2015 ; Ostrom, 1992 ; Van der Kooij et al., 2015). Dans notre cas d'étude, il a fallu aussi coordonner l'utilisation conjuguée de plusieurs ressources en eau, et gérer la cohabitation de plusieurs fournisseurs d'eau dans un même espace irrigué. Des transformations matérielles et institutionnelles devaient donc être opérées, puisque les différentes ressources en eau mobilisées possédaient des propriétés physiques distinctes (débit, fréquence, flux, stock). Les canaux d'irrigation secondaires ont été interconnectés pour faciliter le transport des petits débits des forages qui sont dispersés dans l'espace irrigué. Les institutions développées initialement pour gérer l'allocation et la distribution des eaux de fuites, y compris les marchés de service de l'eau, ont été dupliquées aux eaux souterraines, puisque, ces deux ressources en eau partagent les mêmes caractéristiques physiques (petit débit à flux plus ou moins continu). Toutefois, l'imbrication de plusieurs ressources en eau de surface et souterraine et fournisseurs d'eau dans un même espace irrigué, a incité à son tour le façonnage de nouvelles institutions de cohabitation pour coordonner l'utilisation conjuguée des eaux de lâchers du barrage et des eaux souterraines, des eaux de fuites du barrage et des eaux souterraines, et des eaux souterraines pompées de tous les forages.

Le renouvellement d'un système irrigué communautaire n'est jamais fini. Il s'inscrit dans la durée à travers des opportunités et des changements qui s'offrent à la communauté d'irrigants. Après avoir réglé le problème socio-ethnique d'accès à l'eau souterraine et apprivoisée l'imbrication de plusieurs ressources en eau et fournisseurs d'eau dans un même espace irrigué, certains fournisseurs d'eau, notamment ceux du groupe des vendeurs d'eau privés, commençaient à apercevoir l'opportunité économique que représentaient la vente de l'eau. Dans un contexte où l'agriculture pratiquée ne génère pas suffisamment de bénéfices, la domination des marchés de service de l'eau souterraine constituait une activité agricole très rémunératrice. À partir de là, une concurrence économique et des rivalités entre certains fournisseurs d'eau se sont développées autour des marchés des services de l'eau souterraine. Cela a conduit les vendeurs d'eau privés à concevoir des stratégies de vente de l'eau, en particulier autour de la qualité de service de l'eau pour attirer plus de clients potentiels et voir même les fidéliser à leur marché.

Cependant, si les marchés de service de l'eau souterraine ont apporté des transformations sociales en garantissant l'accès à l'eau à 70% des irrigants, des transformations économiques à une poignée de personnes qui ont bénéficié de forages subventionnés, ils ont en parallèle produit une autre forme d'inégalité. Bisson (1992) a décrit le même phénomène de réapparition des inégalités sous différentes formes, « *improductives comme la construction des somptueuses demeures* » dans les pays des *foggaras*. Dans la palmeraie de Sidi Okba, ces inégalités sont plus rattachées au capital financier. C'est pour cette raison que la communauté maintient le marché de l'eau formel à travers la coopérative agricole et ses forages étatiques. Elle évite ainsi le monopole des vendeurs privés et continue à exercer une influence sur le prix de l'eau. Cependant, la cherté des marchés de service de l'eau souterraine, couplée à d'autres problèmes tels que l'héritage et la faible rentabilité du système de production, a incité certains propriétaires de jardins marginalisés à cesser d'irriguer leurs palmiers ou à abandonner complètement l'exploitation de leurs jardins phoenicicoles.

Dans ses travaux Bisson (1992) a formulé l'hypothèse du renouveau des *foggaras* en opposition au discours dominant sur le déclin de celles-ci, à la suite de l'irruption de la modernité

‘motopompe’ dans leurs systèmes irrigués communautaires. À travers notre recherche de thèse, l’hypothèse de Bisson a été validée, tout en montrant que ce renouveau n’est pas spécifique aux *foggaras*, mais concerne d’autres types de systèmes irrigués communautaires qui ont adopté des technologies modernes d’irrigation dans leurs systèmes traditionnels. La valeur ajoutée de cette thèse par rapport aux travaux de Bisson est de développer un cadre d’analyse permettant de décrypter comment et dans quelles conditions ce renouveau s’opère. Le renouveau du système irrigué communautaire de l’ancienne palmeraie de Sidi Okba se manifeste à travers des transformations hydro-sociales : hydrauliques (nouvelles ressources en eau), institutionnelles (règles de distribution, allocations et cohabitation, marché de service de l’eau), matérielles (adaptation des infrastructures d’irrigation) et sociales (jeux de pouvoir et relations antagonistes entre les différents groupes socio-ethniques).

Au début de la conclusion, lorsque j’ai confronté les discours sur le déclin ou le renouveau des systèmes irrigués communautaires à la suite de l’irruption des technologies de pompage des eaux souterraines profondes, j’ai interrogé la capacité de résilience de ces systèmes lorsque la modernité vient se greffer sur le traditionnel. Dans la littérature, la résilience est définie comme « *la capacité d’un système à absorber les perturbations et à se réorganiser tout en subissant le changement afin de conserver essentiellement la même fonction, structure, identité et rétroaction* » (Walker et al., 2004). Ainsi, en se basant sur cette définition, nous constatons que le système irrigué de Sidi Okba a su absorber les différentes perturbations exogènes et endogènes apparues durant la deuxième moitié du 20^{ème} siècle, en se réorganisant profondément. Le système irrigué a dû se renouveler par des transformations hydro-sociales afin de conserver sa fonction essentielle d’irrigation collective, sa structure sociale hétérogène, son identité socio-culturelle et socio-hydraulique et les rétroactions produites pour assurer sa pérennité. Le renouvellement à la suite de l’arrivée de nouvelles technologies hydrauliques a montré la résilience du système irrigué communautaire de l’ancienne palmeraie de Sidi Okba. L’évolution de ce système ne signifie pas la rupture avec le passé. Bien au contraire, la continuité dans le changement dans ce système se lit dans les pratiques, connaissances et savoir-faire traditionnels.

6.1.3 Continuité territoriale, les nouveaux espaces irrigués *creatio ex materia* des anciens

Le développement des nouveaux espaces irrigués dans le Sahara est souvent considéré par les acteurs externes (pouvoirs publics et observateurs) comme une *creatio ex nihilo* par rapport aux systèmes irrigués traditionnels (Bensaâd, 2011). Ce regard est le fruit d’une analyse distincte des systèmes traditionnels et des systèmes modernes. Il est basé sur la mise en évidence de ruptures à la fois dans les systèmes de production et les modes d’accès à l’eau. Kouzmine (2012) a argumenté cette idée de ruptures par le fait que la diffusion des motopompes a provoqué une « *individualisation des pratiques agricoles, alors que jusqu’ici le collectif dominait dans les oasis, dont seule une action collective pouvait expliquer l’existence* ». Si cette perspective d’une *creatio ex nihilo* continue à influencer les politiques publiques, sur le terrain les réalités sont tout autre. Dans notre cas d’étude, cette perspective a été remise en cause en montrant que les formes d’organisation collective d’accès et d’usage de l’eau souterraine pompée sont présentes dans les nouveaux comme dans les anciens espaces irrigués du territoire oasien de Sidi Okba et

que ces pratiques ont été héritées du système irrigué communautaire. En outre, la *creatio ex nihilo* a également été décrétée par les décideurs politiques à travers la promulgation du développement territorial sous l'angle dichotomique séparant par exemple le modèle traditionnel du modèle moderne, les logiques économiques des logiques sociales, les pratiques individuelles des pratiques collectives, etc. De tout ceci, il résulte à notre avis une erreur de raisonnement comme si une fosse infranchissable séparait les nouveaux et les anciens espaces irrigués. Inversement, on peut nous demander quel est l'intérêt d'inclure les systèmes irrigués traditionnels dans le développement territorial. Une partie de la réponse à cette question se trouve par le fait qu'une grande partie des projets étatiques promue dans le Sahara algérien dans lesquels les populations locales n'ont été pas impliquées, a connu un échec à l'instar du projet d'« agribusiness » de la décennie 1970. À l'inverse, lorsque les communautés oasiennes se sont réappropriées par le bas les discours politiques initiés par le haut pour promouvoir l'agriculture saharienne, un nouveau territorial a émergé dans les anciens espaces irrigués comme dans les nouveaux espaces irrigués. Elles ont développé un modèle agricole à leur image qui reconnaît à la fois la prouesse économique de l'agriculture orientée vers le marché et la richesse du patrimoine culturel et hydro-agricole des anciennes oasis. Dans notre cas d'étude, l'hybridité entre les ambitions étatiques et les initiatives locales, des connaissances et pratiques traditionnelles et modernes, et des logiques économiques et sociales ont permis de renouveler les deux espaces irrigués du territoire oasien de Sidi Okba. Ce nouveau territorial se manifeste par : i) le développement d'une agriculture de marché dans les nouveaux espaces irrigués tout en maintenant une organisation familiale héritée de l'agriculture oasienne traditionnelle, ii) la modernisation de l'ancien espace irrigué de l'ancienne palmeraie tout en maintenant son organisation collective, et iii) la recomposition des relations sociales à l'extérieur comme à l'intérieur de l'ancienne palmeraie. Toutefois, l'analyse de ce nouveau a permis de dévoiler non seulement la continuité territoriale entre les deux espaces irrigués, mais également leur complémentarité et interdépendance. Une partie des revenus générés dans les nouveaux espaces irrigués est réinjectée dans l'ancienne palmeraie par attachement social à l'agriculture pratiquée qui représente un patrimoine socio-culturel. Les connaissances et les savoir-faire ancestraux de l'agriculture oasienne traditionnelle sont drainés vers les nouveaux espaces. Tout ceci prouve que les nouveaux espaces irrigués sont une *creatio ex materia* des systèmes oasiens traditionnels de Sidi Okba. À travers notre recherche, nous concluons qu'il est important de considérer les anciens et les nouveaux espaces irrigués comme un seul et même territoire. Pour cela, il faut reconnaître à la fois la complexité territoriale, les hybridités dans chaque espace, et les interactions existantes entre les anciens et nouveaux espaces irrigués. Une nouvelle perspective politique des territoires oasiens est importante pour promouvoir un développement agricole intégré du Sahara. Ainsi, il faudrait apprendre des erreurs du passé en intégrant davantage les communautés locales dans les projets de développement agricole. Les communautés oasiennes connaissent mieux que quiconque leurs milieux. Confrontées à une aridité extrême, elles ont apprivoisé au cours du siècle le Sahara. Pour mener à bien les projets futurs, l'État doit considérer les communautés oasiennes comme ses alliées.

6.2 Quelles options pour atténuer les vulnérabilités dans les oasis

6.2.1 Vulnérabilités environnementales et écologiques

Au cours de ces quatre dernières décennies, l'exploitation des ressources en eau souterraine peu renouvelable dans le Sahara algérien a été promue à travers des politiques très ambitieuses comme une alternative pour atteindre l'autosuffisance alimentaire en augmentant la superficie irriguée. En même temps, des efforts ont été réalisés pour préserver les anciens espaces irrigués. L'exploitation de l'eau souterraine profonde a également été promue pour l'alimentation en eau potable d'une population qui a quintuplé au cours de la deuxième moitié du 20^{ème} siècle, passant de 659,878 en 1954 à 3,570,000 habitants en 2008. Toutefois, cette promotion n'a pas été accompagnée d'une ligne directrice sur la gestion des ressources en eau souterraine peu renouvelables et la régulation des prélèvements, et d'une étude sur les éventuelles conséquences néfastes due aux rejets bruts des eaux usées dans le milieu naturel. La multiplication par cinq de la population saharienne s'est accompagnée d'une augmentation encore plus importante de la production des eaux usées urbaines. En prenant en considération la production des eaux usées brutes par équivalent-habitant de 180 l/j/habitant, la population saharienne à elle seule produit approximativement 236 Mm³/an d'eaux usées urbaines, sans compter les rejets des industries. Par exemple, la wilaya de Biskra comprenant une population de 721,486 habitants selon le recensement de 2008, produit 20 % du volume d'eau usée urbaine du Sahara, ce qui est considérable. Si on ajoute la part non-consommée de l'eau agricole rejetée en milieu naturel, dont le volume dépasse sans doute les eaux usées urbaines, le volume total d'eau usée produit à l'échelle du Sahara serait encore plus considérable. En ignorant le cycle hydrologique et ses spécificités (c'est à dire d'où provient l'eau et comment est-elle restituée à la nature), l'augmentation des rejets d'eaux usées, provenant initialement des eaux souterraines profondes, a provoqué des vulnérabilités environnementales et écologiques un peu partout dans le Sahara algérien, par exemple par l'engorgement des systèmes de *ghout* dans la vallée du Souf (Côte, 2002).

Une partie de la solution pour atténuer ces vulnérabilités pourrait être la réutilisation des eaux usées épurées des agglomérations sahariennes en agriculture à condition de prendre les précautions nécessaires pour éviter tout risque sanitaire ou environnemental en éliminant la charge pathogène. La réutilisation des eaux usées épurées en agriculture a montré ses preuves dans certains systèmes irrigués communautaires, à l'instar de l'Espagne (Ortega-Reig, 2015), mais également dans les systèmes modernes (Pedrero et al., 2010). La réutilisation des eaux usées épurées est une ressource en eau précieuse dans les pays méditerranéens et dans les régions arides et semi-arides confrontées à une disponibilité d'eau de surface renouvelable limitée et une consommation en eau urbaine et agricole croissante.

À l'échelle du Sahara algérien, la réutilisation des eaux usées épurées permettrait à la fois de :

- Réduire les rejets des eaux usées urbaines sans traitement dans la nature qui sont en partie responsable de l'engorgement de certaines villes (e.g. Touggourt et Ouargla) et des zones agricoles basses (*ghouts* et en aval des oasis), et la dégradation de la qualité des nappes phréatiques par l'augmentation de la salinisation et sa contamination par des organismes pathogènes due à l'infiltration des eaux usées brutes ;

- Couvrir en partie les besoins en eau agricole et ainsi économiser de l'eau souterraine pompée d'équivalent de 236 Mm³/an et donc de l'énergie électrique. Dans les conditions de l'ancienne palmeraie de Sidi Okba, pomper 1 million de m³ d'eau demande en moyenne 500,000 kWh. Une telle solution n'est donc pas négligeable, ça permettrait d'atténuer un peu la pression sur les ressources en eau souterraine peu renouvelables et de diminuer la consommation énergétique.

Cependant, cette ressource en eau n'est pas une « solution miracle », elle ne pourrait pas résoudre tous les problèmes. Toutefois, elle permettrait d'atténuer la dépendance agricole sur les ressources en eau non renouvelables et de couvrir une partie des besoins en eau. En plus, elle permettrait de régler les problèmes environnementaux liés aux rejets d'eaux usées brutes dans la nature. Les rejets d'eaux usées de l'agglomération de Sidi Okba qui compte 33,121 habitants produisent environ 2.2 Mm³/an d'eaux usées épurées. Ce volume est équivalent à la moitié des prélèvements annuels d'eau souterraine par le biais de 19 forages (4.5 Mm³/an en 2014) dans l'ancienne palmeraie. Ainsi, face à une pénurie d'eau de surface persistante principalement due à l'envasement du barrage, la réutilisation des eaux usées épurées représente une option efficace pour régler les problèmes environnementaux tout en procurant une ressource en eau supplémentaire de bonne qualité. Ceci freinerait l'émergence d'autres forages (8 à 12) et donc l'accroissement des prélèvements d'eau souterraine. Cependant, d'autres voies d'amélioration devraient être identifiées pour atténuer la pression sur la ressource en eau souterraine. Il s'agit en particulier de mettre en regard les besoins en eau des palmiers, les pratiques d'irrigation et les dynamiques hydrologiques.

Une étude approfondie devrait être entamée à l'échelle du Sahara pour estimer les besoins en eau des palmiers (le Sahara algérien compte pas moins de 17 millions de palmiers ; Benziouche et Cheriet, 2012), en fonction de la localisation géographique des régions phoenicicoles, des types de sol et des variétés phoenicicoles, puis les mettre en regard avec les pratiques d'irrigation actuelles. Elle pourrait aboutir à identifier les leviers pour diminuer les prélèvements des eaux souterraines profondes. Cependant, une telle étude est complexe, car il va falloir tenir compte des conditions hydrologiques et socio-économiques spécifiques à chaque contexte. Dans notre cas, par exemple, les rôles et l'évolution de la nappe phréatique restent mal connus en termes de piézométrie, qualité de l'eau (salinité en particulier), recharge, alimentation en eau des palmiers, etc.

En prenant l'exemple des besoins en eau, les chiffres avancés dans la littérature sont souvent contradictoires. Par exemple, dans la région de Ziban (Biskra), les besoins en eau d'un palmier ont été estimés en 1950 à 80 m³/an dans les anciennes palmeraies (SCET coop, 1969). Cinquante ans après, les besoins en eau des palmiers dans cette même région ont été estimés à 15,000 m³/ha/an pour une plantation moderne de 9x9 mètres avec 123 palmiers, ce qui revient à 120 m³/an par palmier (Peyron, 2000). D'autres chercheurs avancent le chiffre de 135 m³/an/palmier (Taïbi et al., 2003), sans parler de la configuration parcellaire. Tous ces chiffres montrent l'importance des conditions dans lesquelles les différentes études ont été réalisées. Par exemple, en ce qui concerne l'étude de 1950, on peut faire l'hypothèse que les besoins en eau ont augmenté depuis. Les palmiers aujourd'hui ne sont plus en mesure d'extraire autant d'eau des nappes phréatiques à la suite du rabattement de leur niveau piézométrique. Puis, la

variabilité climatique (sécheresses en particulier) a accentué l'évapotranspiration. De plus, l'étude réalisée par Peyron (2000) a porté sur les nouvelles et modernes exploitations phoenicicoles orientées vers la *deglet nour*, qui est plus exigeante en eau. Ces estimations ne peuvent pas être appliquées telles quelles aux jardins phoenicicoles à l'intérieur des anciennes palmeraies pour plusieurs raisons agronomiques : diversité phoenicicole, forte densité de plantation, une disposition asymétrique, une structure d'âge très hétérogène. Quant à l'étude de Taïbi et al. (2003), on ne sait pas comment ce besoin a été estimé, pour quelle variété et dans quelle palmeraie (ancienne ou moderne). Tout ceci montre qu'il est nécessaire de préciser les conditions des expérimentations et d'actualiser au fur et à mesure les besoins en eau de l'une des principales cultures de Sahara. Dans notre cas d'étude, la connaissance des besoins en eau de l'ancienne palmeraie de Sidi Okba, permettrait d'un côté de déterminer la ration des apports en eaux souterraines (4.5 Mm³/an) et des eaux usées épurées (2.2 Mm³/an) par rapport aux besoins totaux, et d'identifier les possibilités de réduire les prélèvements d'eau souterraine.

Pour les systèmes irrigués dépendant (partiellement) de l'eau de surface, il faudrait également trouver des solutions pour augmenter et régulariser les apports d'eau de surface. Dans notre cas d'étude, la pénurie d'eau de surface est due en partie à l'envasement du barrage de Foug El Gherza. Actuellement, il a perdu 80 % de sa capacité de stockage, malgré deux opérations de dragages réalisés en 2005 et 2012 pour extraire respectivement un volume de vase de 4 et 8 Mm³. Toutefois, les rares crues -chargées en sédiments- enregistrées après ces opérations, ont réenvasé rapidement le barrage. Ceci montre la nécessité d'aménager le bassin versant de l'oued El Abiod pour limiter le phénomène d'érosion et ainsi éviter l'envasement du barrage et mieux valoriser les opérations de dragages qui coûtent très cher. Diverses méthodes existent comme le reboisement, la réalisation des banquettes et l'aménagement des ravines par la correction torrentielle (Remini et Wassila, 2006). L'option de l'utilisation conjuguée de plusieurs ressources en eau renouvelables, non renouvelables et non conventionnelles, devrait être accompagnée de l'amélioration de l'efficacité du réseau d'irrigation pour réduire les pertes d'eau et des pratiques d'irrigation. La mise en œuvre de l'ensemble de ces options est peut-être plus difficile à court terme que les options habituellement envisagées relevant d'une politique de l'offre (transfert d'eau ; installation de nouveaux forages), mais certainement plus durable à long terme.

6.2.2 Vulnérabilités socio-économiques

L'engouement pour la variété de palmiers *deglet nour* à haute valeur marchande et qui a récemment obtenu le label d'Indication Géographique (label/IG), accentue la marginalisation des phoeniculteurs qui possèdent des palmiers de variétés locales, et menace la disparition du patrimoine phoenicicole dans toute sa (bio) diversité à moyen et long terme. Le problème se pose dans les nouveaux comme dans les anciens espaces irrigués. Dans les nouveaux espaces irrigués, les palmiers de variétés locales sont pratiquement absents. La variété *deglet nour* reste un élément principal de la doctrine du développement de l'agriculture saharienne. Dans notre cas d'étude, elle représente 83% du nombre total des palmiers dans le périmètre Tadjdid. À l'inverse, à l'intérieur des anciennes palmeraies centenaires, les palmiers de variétés locales sont les plus dominants. Dans l'ancienne palmeraie de Sidi Okba, ces variétés représentent presque 90% du nombre total des palmiers. Sur le marché, les dattes locales ont perdu leur

valeur économique à la suite de la fermeture des frontières terrestres avec l'Afrique subsaharienne vers laquelle la production était exportée. D'autres difficultés viennent s'ajouter à celle de l'écoulement de la production à des prix très bas qui sont :

- la configuration des jardins phoenicicoles (morcellement des parcelles, conflits d'héritage, forte densité des palmiers, plantation asymétrique, structure d'âge très hétérogène, etc.) ;
- la cherté des marchés de service de l'eau souterraine ;
- le manque de main-d'œuvre qui par conséquent augmente continuellement le prix des prestations horaires. Les ouvriers phoenicicoles préfèrent travailler sur les nouveaux espaces irrigués qui sont considérés comme moins pénibles et plus rémunérateurs dans la durée puisque les exploitations agricoles sont plus grandes ;
- les intermédiaires de commercialisation des dattes imposent des conditions sévères aux phoeniciculteurs. Ils achètent principalement les dattes *deglet nour*. Les dattes de variétés locales sont achetées uniquement dans le cas où le nombre de palmiers dépasse les 100 pieds par jardin.

La conjugaison de toutes ces difficultés incite certains phoeniciculteurs à ne pas polliniser et irriguer les palmiers de variétés locales, engendrant des vulnérabilités socio-économiques, mais également écologiques.

Face à ces vulnérabilités socio-économiques et écologiques qui peuvent entraîner l'effondrement des agrosystèmes oasiens traditionnels, la valorisation des dattes de variétés locales est cruciale. Dans ce sens, des projets de transformations des dattes et de ses sous-produits commencent à s'implanter depuis peu dans le Sahara, à l'instar du projet agroalimentaire algéro-italien à Biskra. Ce projet de 2 millions d'euros a pour principal but la transformation des dattes de variétés locales et la production de dérivés de ces dattes. La première phase de l'usine est opérationnelle depuis l'an dernier. Elle concerne la production de sucre de dattes liquides, confiture, miel et jus à base de dattes. Dans une seconde phase, et cela après extension de l'usine, la transformation des dattes de variétés locales produirait du vinaigre de table, l'alcool médical et la farine de dattes. De tels projets redonneraient un nouveau souffle aux anciennes palmeraies et permettraient aux phoeniciculteurs marginalisés d'écouler leur production dans le marché agro-industrielle national et ainsi améliorer leur situation financière. Toutefois, des études socio-économiques devraient être lancées dans ce sens.

En parallèle de ces projets agro-alimentaires, une autre option plus paysanne pourrait également aider les petits phoeniciculteurs marginalisés des anciennes palmeraies à améliorer leur situation financière. Cette option est le retour à l'agriculture oasienne à étages tournée vers la production Bio à haute valeur marchande.

L'option du tourisme est également envisageable pour améliorer l'économie de la Commune de Sidi Okba et de ses habitants à travers la promotion d'un circuit touristique destinée à faire connaître le patrimoine culturel bien présent dans la commune de Sidi Okba, en particulier le mausolée du conquérant arabe Okba Ben Nafaâ El Firhi qui est au cœur de l'ancienne palmeraie de Sidi Okba.

En listant les différentes options de développement pour atténuer les vulnérabilités des oasis Sahariennes, il paraît clairement qu'il n'existe pas de solution miracle qui pourrait régler à la fois les problèmes environnementaux, agronomiques, écologiques et socio-économiques. Dans cette conclusion de thèse, nous proposons un ensemble d'options qui devraient être approfondies en pesant les avantages et les inconvénients de chacune des options à court, moyen et long terme.

6.3 La double portée scientifique du cadre d'analyse développé

La problématique de l'irruption de technologies modernes d'irrigation dans des systèmes irrigués communautaires est complexe, on l'a vue. Pour démêler et analyser cette complexité, dans le temps et dans l'espace, nous avons croisé plusieurs dimensions qui entrent en jeu dans la gestion de l'eau. Nous avons adopté la dimension complémentaire proposée par Riaux et Massuel, (2014) dans l'approche de la Gestion Sociale de l'Eau, qui porte sur les différents aspects sociaux, matériels et techniques des ressources en eau. Puis, nous l'avons couplé à l'approche des territoires de l'eau (espaces, ressources naturelles et acteurs ; Ghiotti, 2006). Les interactions entre les territoires de l'eau et les systèmes irrigués, d'une part, et les politiques agricoles, les exploitations agricoles et les filières agricoles, d'autre part ont également été prises en compte dans notre analyse, mais avec des degrés différents selon les besoins de l'étude. Cela nous a permis de développer un cadre d'analyse interdisciplinaire et multiscalair pour dénouer l'écheveau des systèmes irrigués communautaires complexes. Notre cadre d'analyse a une double portée : une plus spécifique au contexte du territoire oasien de Sidi Okba et l'autre plus générique aux systèmes irrigués communautaires en fortes mutations.

6.3.1 Application du cadre d'analyse à la problématique de la réutilisation des eaux usées épurées

Dans la partie précédente, on a vu que la réutilisation des eaux usées épurées constitue une option intéressante pour la durabilité du développement agricole dans le Sahara algérien et pour atténuer les vulnérabilités environnementales causées par l'exploitation intensive des eaux souterraines peu renouvelables. Dans ce sens, il serait intéressant de regarder cette option à travers le cadre d'analyse développé dans cette thèse. Si théoriquement la réutilisation des eaux usées épurées en agriculture procure des avantages, c'est dans la pratique que les choses vont se compliquer. L'application du cadre d'analyse développé à la problématique des eaux usées épurées dans notre cas d'étude permet de se projeter à travers trois dimensions : les ressources en eau, les acteurs et la territorialité.

L'intégration d'une ressource en eau supplémentaire non conventionnelle en plus des autres ressources en eaux renouvelables (eaux de surface) et peu renouvelables (les eaux souterraines) dans le réseau d'irrigation de surface de l'ancienne palmeraie de Sidi Okba, impliquerait la réorganisation de son système. Des adaptations devraient être opérées pour intégrer cette nouvelle ressource dans le réseau, mais également pour gérer l'allocation et la distribution de l'eau et coordonner l'utilisation conjuguée de quatre ressources en eau mobilisées. Les différences existantes entre les quatre ressources en eau en ce qui concerne la nature de la ressource et ses propriétés physico-chimiques, impliquerait des adaptations non seulement institutionnelles (règles d'allocation, distribution et cohabitation des eaux), matérielles (réseau

d'irrigation, techniques et pratiques d'irrigation), mais également techniques (fréquences, débits, flux, etc.) en fonction du volume produit d'eaux usées épurées, et des adaptations chimiques afin de s'assurer la bonne qualité de l'eau. L'ampleur des adaptations ne poserait pas des difficultés à la communauté d'irrigants de l'ancienne palmeraie de Sida Okba puisqu'elle a acquis au cours de son histoire une robustesse organisationnelle dans l'intégration de nouvelles ressources en eau dans son système.

Cependant, si la mobilisation d'une nouvelle ressource en eau ne poserait pas problème, sa gestion en revanche déclencherait inévitablement des conflits entre les fournisseurs formels et informels d'eau. La coopérative agricole voudrait gérer cette ressource comme pour les autres ressources en eau publiques (eaux de surfaces et forages étatiques). Dans cette configuration, les fournisseurs informels d'eau souterraine vont s'opposer puisque leur activité rémunératrice serait mise en danger. De ce fait, il faudrait trouver un compromis pour ne pas marginaliser les fournisseurs informels d'eau souterraine. Le cadre d'analyse développé offre les outils nécessaires à la réflexion et à la médiation pour trouver un compromis qui arrangerait les différentes parties prenantes (État, coopérative agricole, les fournisseurs informels et les usagers d'eau).

Dans les parties précédentes (ressources et acteurs), la réutilisation des eaux usées épurées s'est limitée à l'ancienne palmeraie de Sidi Okba, alors que le territoire oasien se compose de l'ancien et de nouveaux espaces irrigués. Ceci se justifie par le fait qu'il est plus facile d'intégrer une nouvelle ressource dans un système où : i) l'organisation sociale autour de l'accès et l'usage est déjà bien ancrée, ii) le réseau d'irrigation collectif existe déjà et ii) une force de réorganisation robuste. Toutefois, la réutilisation des eaux usées épurées dans l'ensemble du territoire oasien n'est pas impossible, mais elle demanderait plus d'effort organisationnel, une plus grande enveloppe budgétaire et surtout un calendrier d'irrigation plus stricte qui prendrait en compte la diversification culturelle dans les nouveaux espaces irrigués.

6.3.2 Application du cadre d'analyse dans des systèmes irrigués communautaires en mutations

En plus de la portée scientifique plus spécifique au contexte du territoire oasien de Sidi Okba, le cadre d'analyse développé a une portée plus générique aux systèmes irrigués communautaires en fortes mutations.

L'approche territoriale mobilisée dans le cadre d'analyse a montré l'importance d'inclure les nouveaux espaces irrigués dans l'analyse du renouvellement des systèmes irrigués communautaires. Dans notre cas, par exemple, cette approche a permis de dévoiler comment les opportunités économiques et sociales saisies dans les nouveaux espaces irrigués ont participé activement à la recomposition des relations socio-ethniques dans le système irrigué communautaire de l'ancienne palmeraie.

L'approche de la Gestion Sociale de l'Eau mobilisée dans le cadre d'analyse a montré quant à elle l'importance de bien connaître les ressources en eau mobilisées et les dynamiques sociales, techniques, économiques qui lui sont associées. Elle nous a également permis de souligner les capacités d'adaptations des systèmes irrigués. Ces capacités permettent non seulement de faire

face aux changements endogènes, mais également de faire face aux changements exogènes tels que les interventions étatiques, l'irruption de nouvelles technologies et ressources en eau. Notre cadre d'analyse permet ainsi de démontrer les capacités d'adaptation par le façonnage des institutions de gestion de l'eau, mais également par les adaptations des infrastructures d'irrigation. Dans notre cas d'étude, par exemple, nous avons démontré que les propriétés physiques des différentes ressources en eau mobilisées façonnent et sont façonnés par les institutions de gestion, mais également par les infrastructures d'irrigation. De ce fait, il est important d'inclure la dimension hydraulique et matérielle (adaptation des infrastructures d'irrigation) en plus de celui des règles « ostromiennes » dans le fonctionnement et l'évolution des systèmes irrigués collectifs (publics ou communautaires), en lien avec les caractéristiques physiques des ressources en eau mobilisées.

Notre cadre d'analyse permet également d'analyser les raisons qui expliquent pourquoi certains systèmes communautaires sont plus durables tandis que d'autres s'effondrent : i) la reconnaissance des vulnérabilités par les communautés d'irrigants, ii) la saisie des opportunités et changements qui s'offrent à elles, iii) leurs capacités de renouvellement à travers des adaptations et des transformations, et iv) le maintien de l'organisation collective et l'agrosystème traditionnel qui représentent l'« âme » de ces systèmes irrigués. Ainsi, ce cadre d'analyse offre les outils nécessaires pour lire et comprendre le renouvellement des systèmes irrigués communautaires pour faire face à des vulnérabilités climatiques, environnementales, écologiques et socio-économiques.

Activités scientifiques

Productions scientifiques en lien avec la thèse

Hamamouche, M.F., Kuper, M., Riaux, J., Leduc, C., 2017. Conjunctive use of surface and ground water resources in a community-managed irrigation system – the case of the Sidi Okba palm grove in the Algerian Sahara. *Agricultural Water Management*, 193, 116–130. doi: 10.1016/j.agwat.2017.08.005.

Hamamouche, M.F., Kuper, M., Hartani, T., Bouarfa, S., 2017. Overlapping groundwater service markets in a palm grove in the Algerian Sahara. *Irrigation and Drainage*. doi: 10.1002/ird.2178.

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.

Hamamouche, M.F., Kuper, M., Lejars, C., 2015. Émancipation des jeunes des oasis du Sahara algérien par le déverrouillage de l'accès à la terre et à l'eau. *Cahiers Agricultures* 24 : 412-419. doi : 10.1684/agr.2015.0777.

Dugué, P., Lejars, C., Ameur, F., Amichi, F., Braiki, H., Burte, J., Errahj, M., **Hamamouche, M.F.**, 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.

Hamamouche, M.F., Kuper, M., Lejars, C., Amichi, H., Ghodbani, T. New reading of Saharan agricultural transformation: continuities of ancient oases and their extensions (Algeria). *World Development*, soumis pour publication. Ò

Participation à des séminaires et présentation d'une communication scientifique

Journées Scientifiques Maghrébines sur le thème « **Ressources en eau souterraine au Maghreb : Quels instruments pour une gestion durable ?** ». Du 8-10 Mai 2017, Rabat (Maroc). Présentation d'une communication orale intitulée : Utilisation conjuguée des ressources en eau de surface et souterraine dans un système irrigué communautaire - le cas de la palmeraie de Sidi Okba dans le Sahara algérien.

Débat scientifique sur le thème « **Développement de l'agriculture Saharienne** » avec l'équipe de géographes du laboratoire EGEAT. Du 19-20 Avril 2017, Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed (Algérie). Présentation d'une communication orale intitulée : Transformation de l'agriculture Saharienne, interdépendance et complémentarité entre les anciennes oasis et leurs

extensions.

Workshop International sur la « **Gestion intégrée et durable des territoires oasiens** ». Du 12-15 Avril 2016, Zagora (Maroc). Présentation d'une communication orale intitulée : Formes d'organisation collective d'accès et d'usage des eaux souterraines pompées dans le Sahara algérien.

Conférence Euro-Méditerranéenne sur l'irrigation – ICID 2015 « **Innover pour améliorer les performances de l'irrigation** ». Du 12-15 Octobre 2015, Montpellier (France). Présentation d'une communication (sous forme de poster) intitulée : Une société oasienne à l'épreuve de l'eau souterraine : continuités et ruptures. Cas des oasis de Sidi Okba (Algérie).

3^{ème} Séminaire du projet Groundwater-Arena sur « **Gouvernance des eaux souterraines au Maghreb** ». Du 11-16 Octobre 2015, Montpellier (France). Présentation d'une communication orale intitulée : Une société oasienne à l'épreuve de l'eau souterraine : continuités et ruptures. Cas des oasis de Sidi Okba (Algérie).

2^{ème} Séminaire du projet Groundwater-Arena sur « **Gouvernance des eaux souterraines au Maghreb** ». Du 4-6 Mars 2015, Kairouan (Tunisie). Présentation d'une communication orale intitulée : Façonnage des institutions autour de l'accès et l'usage des ressources en eau souterraine.

International Association of Hydrogeologists IAH, the Moroccan Chapter - 41st IAH International Congress « **Groundwater: Challenges and Strategies** » - Marrakech (Morocco), September 15-19, 2014. Présentation d'une communication orale intitulée : Integrating groundwater in a Collective Surface water irrigation scheme: The case of the Sidi Okba palm grove (Algeria).

International conference « **Irrigation Society Landscape: Tribute to T.F. Glick** » – Valencia (Spain), September 25-27, 2014. Présentation d'une communication (sous forme de poster) intitulée : Distributing groundwater from collective and individual tube-wells in a surface water irrigation system: The adaptability of the Sidi Okba Oasis (Algeria).

1^{er} séminaire du projet Groundwater-Arena sur la « **Gouvernance des eaux souterraines au Maghreb** ». Du 3-7 Décembre 2013, Biskra (Algérie). Présentation d'une communication orale intitulée : Intégration des ressources en eau souterraine dans un périmètre irrigué de surface : le cas de l'oasis de Sidi Okba (Algérie).

Autres activités scientifiques

Doctoriales en Sciences sociales de l'eau. Du 16-17 Juin 2016, Université Montpellier 3 (France). Présentation d'une communication orale intitulée : Construction des territoires de l'eau souterraine dans le Sahara algérien. Cas des oasis de Sidi Okba.

Atelier de la Gestion Sociale de l'Eau animé par Jeanne Riaux et Zhour Bouzidi. 12-15 Janvier 2015, Moulay Driss Zarhoun (Meknès, Maroc).

Atelier d'écriture d'article scientifique dans le cadre du numéro spécial du projet DAIMA « Les jeunes ruraux et les nouvelles formes d'agriculture irriguée ». Revue Cahiers Agricultures. Du 23-24 Octobre 2014, ENA de Meknès (Maroc).

Atelier d'écriture scientifique en Anglais animé par Daphne Goodfellow. Du 27-30 Mai 2013, Moulay Driss Zarhoun (Meknès, Maroc).

Cours « introduction à la question foncière » organisé par le Département d'Economie Rurale de l'ENSA et le Pôle Foncier de Montpellier. Du 10-6 Mars 2013, l'ENSA d'Alger (Algérie).

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Adnan, S., 1999. Agrarian structure and agricultural growth trends in Bangladesh: The political economy of technological change and policy interventions, in: Brogaly, B., Harriss-White, B., Bose, S. (Eds.), *Sonar Bangla? Agricultural Growth and Agrarian Change in West Bengal and Bangladesh*. Sage, New Delhi, pp. 177–228.
- Agrawal, A., 2001. Common property institutions and sustainable governance of resources. *World Dev* 29, 1649–1672.
- Ahmed, B., Abdedayem, S., 2017. Oases in Southern Tunisia: The End or the Renewal of a Clever Human Invention?, in: Lavie, E., Marshall, A. (Eds.), *Oases and Globalization*. Springer, pp. 3–16.
- Ahmed, G., Hamrick, D., Gereffi, G., 2014. Shifting governance structures in the wheat value chain: Implications for food security in the Middle East and North Africa. Center on Globalization, Governance & Competitiveness, Duke University, Durham, UK.
- Aït-Amara, H., 2002. La transition de l'agriculture algérienne vers un régime de propriété individuelle et d'exploitation familiale. *Options méditerranéennes* 36, 127–137.
- Alam, K., 2015. Farmers' adaptation to water scarcity in drought-prone environments: A case study of Rajshahi District, Bangladesh. *Agric water Manag* 148, 196–206. doi:0.1016/j.agwat.2014.10.011
- Alary, V., Hassan, F., Daoud, I., Naga, A.A., Osman, M.A., Bastianelli, D., Lescoat, P., Moselhy, N., Tourrand, J.-F., 2014. Bedouin adaptation to the last 15-years of drought (1995–2010) in the north coastal zone of Egypt: Continuity or rupture? *World Dev* 62, 125–137. doi:10.1016/j.worlddev.2014.05.004
- Algerian Ministry of Water Resources (MRE), 2009. Study of inventory and development of the PMH: RA3 Department of Biskra.
- Allan, J.A., 2007. Rural economic transitions: Groundwater uses in the Middle East and its environmental consequences, in: Giordano, M., Villholth, K. (Eds.), *The Agricultural Groundwater Revolution: Opportunities and Threats to Development*. CABI, Wallingford, UK, pp. 63–78. doi:10.1079/9781845931728.0393
- Ameur, F., Hamamouche, M.F., Kuper, M., Benouniche, M., 2013. La domestication d'une innovation technique: la diffusion de l'irrigation au goutte-à-goutte dans deux douars au Maroc. *Cah Agric* 22, 311–318.
- Amichi, F., Bouarfa, S., Lejars, C., Kuper, M., Hartani, T., Daoudi, A., Amichi, H., Belhamra, M., 2015. Des serres et des hommes: des exploitations motrices de l'expansion territoriale et de l'ascension socioprofessionnelle sur un front pionnier de l'agriculture saharienne en Algérie. *Cah Agric* 24, 11–19. doi:10.1684/agr.2015.0736
- Aubriot, O., 2006a. La participation en irrigation: quels changements depuis la loi de l'an 2000 au Tamil Nadu?(Participation in irrigation: which changes in Tamil Nadu, since the Act of 2000?). *Bull Assoc Geogr Fr* 83, 161–173.
- Aubriot, O., 2006b. Eau souterraine et eaux de surface en Inde du sud: des politiques hydrauliques disparates, in: PCSI-4e Séminaire International et Interdisciplinaire. Cirad, p. 10–p.

- Aubriot, O., 2004. *L'eau, miroir d'une société*. CNRS éditions.
- Aubriot, O., 2002. *Histoires d'une eau partagée*. Publications de l'Université de Provence.
- Aubriot, O., Riaux, J., 2013. Savoirs sur l'eau: les techniques à l'appui des relations de pouvoir? *Autrepart* 65, 3–26.
- Ayeb, H., 2012. Chapitre 10. Compétition sur les ressources hydrauliques et marginalisation sociale, à qui profite la disparition des canaux?, in: *De L'eau Agricole À L'eau Environnementale*. Editions Quæ, pp. 143–155.
- Baker, J.M., 2005. *The Kuhls of Kangra: community-managed irrigation in the western Himalaya*. University of Washington Press.
- Baker, M., 2004. *Communities, Networks, and the State: Continuity and Change among the Kuhl Irrigation Systems of the Western Himalaya*.
- Balasubramanian, R., Selvaraj, K.N., 2003. Poverty, private property, and common pool resource management: the case of irrigation tanks in South India. *South Asian Network for Development and Environmental Economics*.
- Ballabh, V., Choudhary, K., Pandey, S., Mishra, S., 2002. Groundwater development and agriculture production: a comparative study of eastern Uttar Pradesh, Bihar and West Bengal.
- Bauer, C.J., 2004. Results of Chilean water markets: Empirical research since 1990. *Water Resour Res* 40, 1–11. doi:10.1029/2003WR002838
- Beaumont, P., 1997. Water and armed conflict in the Middle East—fantasy or reality?, in: Gleditsch, N.P. (Ed.), *Conflict and the Environment*. kluwer academic publishers, dordrecht, Netherlands, pp. 355–374. doi:10.1007/978-94-015-8947-5_21
- Beaumont, P., 1989. Wheat production and the growing food crisis in the Middle East. *Food Policy* 14, 378–384. doi:10.1016/0306-9192(89)90080-8
- Beaumont, P., McLachlan, K., Wilkinson, J.C., 1985. *Agricultural Development in the Middle East*. Wiley, Chichester, UK.
- Bebbington, A., Bebbington, D.H., Bury, J., Langan, J., Muñoz, J.P., Scurrah, M., 2008. Mining and social movements: struggles over livelihood and rural territorial development in the Andes. *World Dev* 36, 2888–2905.
- Bédoucha, G., Sabatier, J.-L., 2013. Espace hydraulique, espace social dans les Hautes Terres malgaches. *J des Anthropol* 132–133, 45–90.
- Bedrani, S., 1987. Algérie: une nouvelle politique envers la paysannerie? *Rev Occident Musulman Mediterr* 45, 55–66.
- Belghiti, M., 2009. Le Plan National D'économie d'eau en irrigation (PNEEI): une réponse au défi de la raréfaction des ressources en eau. *Hommes Terre Eaux* 143, 144.
- Bendjelid, A., Brûlé, J.-C., Fontaine, J., 2004. Aménageurs et aménagés en Algérie. Héritages des années Boumediene et Chadli. *L'Harmattan*, Paris, France.
- Benouniche, M., Kuper, M., Hammani, A., Boesveld, H., 2014. Making the user visible: Analysing irrigation practices and farmers' logic to explain actual drip irrigation performance. *Irrig Sci* 32, 405.

- Benouniche, M., Kuper, M., Poncet, J., Hartani, T., Hammani, A., 2011. Quand les petites exploitations adoptent le goutte-à-goutte: initiatives locales et programmes étatiques dans le Gharb (Maroc). *Cah Agric* 20, 40–47.
- Bensaâd, A., 2011. L'eau et ses enjeux au Sahara. KARTHALA, Paris, France.
- Benziouche, S.E., Cheriet, F., 2012. Structure et contraintes de la filière dattes en Algérie. *Rev New Medit* 4, 49–57.
- Berlan-Darqué, M., Luginbuhl, Y., Terrasson, D., 2007. *Paysages: de la connaissance à l'action*. Éditions Quæ.
- Bessaoud, O., 2013. La question foncière au Maghreb: la longue marche vers la privatisation. *les Cah du cread* 103, 17–44.
- Bisson, J., 2003. *Mythes et réalités d'un désert convoité: le Sahara*. L'Harmattan, Paris, France.
- Bisson, J., 1993. *Développement et mutations au Sahara maghrébin*. Ministère de l'Éducation Nationale, Centre Régional de Documentation Pédagogique, Acad. d'Orléans-Tours, France.
- Bisson, J., 1992. Les foggara du Sahara algérien: déclin ou renouveau. *Les eaux cachées Études géographiques sur les galeries drainantes Souterr* 7–26.
- Bisson, J., 1990. Permanence d'une paysannerie au Sahara algérien: l'exemple des confins du Grand Erg Occidental. *Les Systèmes Agric oasiens Options méditerranéennes Série A*.
- Bisson, J., 1957. *Le Gourara: étude de géographie humaine*. Institut de recherches sahariennes.
- Blomquist, W.A., Schlager, E., Heikkila, T., 2004. Common waters, diverging streams: Linking institutions to water management in Arizona, California, and Colorado. *Resources for the Future*.
- Blomquist, W., Heikkila, T., Schlager, E., 2001. Institutions and conjunctive water management among three western states. *Nat Resour J* 41, 653.
- Boelens, R.A., 2008. Water rights arenas in the Andes: upscaling networks to strengthen local water control. *Water Altern* 1, 48–65.
- Bouammar, B., Bekhti, B., 2008. Le développement de l'économie agricole oasienne: entre la réhabilitation des anciennes oasis et l'aménagement des nouvelles palmeraies. *Rev du Cherc* 6, 45–51.
- Bouarfa, S., Kuper, M., 2012. Groundwater in irrigation systems: From menace to mainstay. *Irrig Drain* 61, 1–13. doi:10.1002/ird.1651
- Bouaziz, A., Badraoui, M., Agbani, M., Darfaoui, M., 2004. Valorisation agronomique de l'eau dans les périmètres d'épandage de crue au Sud du Maroc, in: *Séminaire Sur La Modernisation de L'agriculture Irriguée*. IAV Hassan II, p. 12.
- Bouderbala, N., Chiche, J., Herzenni, A., Pascon, P., 1984. *La question hydraulique. v. 1: Petite et moyenne hydraulique au Maroc*.
- Brown, L., 2012. *World on the edge: how to prevent environmental and economic collapse*. Routledge, London, UK.
- Brunhes, J., 1902. *L'irrigation: ses conditions géographiques, ses modes et son organisation dans la Péninsule ibérique et dans l'Afrique du Nord*. C. Naud.

- Byerlee, D., Siddiq, A., 1994. Has the green revolution been sustained? The quantitative impact of the seed-fertilizer revolution in Pakistan revisited. *World Dev* 22, 1345–1361. doi:10.1016/0305-750X(94)90008-6
- Chambers, R., 1980. Basic concepts in the organization of irrigation. *Irrig Agric Dev Asia* 28–50.
- Choplin, A., 2014. Olivier Pliez, *Les cités du désert. Des villes sahariennes aux saharatowns*. Géocarrefour 89, 52.
- Cifdaloz, O., Regmi, A., Anderies, J.M., Rodriguez, A.A., 2010. Robustness, vulnerability, and adaptive capacity in small-scale social-ecological systems: The Pampa Irrigation System in Nepal. *Ecol Soc* 15, 39.
- Ciriacy-Wantrup, S. V., 1969. Natural resources in economic growth: the role of institutions and policies. *Am J Agric Econ* 51, 1314–1324.
- Cleaver, F., 2012. *Development through bricolage: rethinking institutions for natural resource management*. Routledge, London, UK.
- Cleaver, F., De Koning, J., 2015. Furthering critical institutionalism. *Int J Commons* 9.
- Cochet, H., 2012. The *systeme agraire* concept in francophone peasant studies. *Geoforum* 43, 128–136. doi:10.1016/j.geoforum.2011.04.002
- Cochet, H., Devienne, S., 2006. Fonctionnement et performances économiques des systèmes de production agricole: une démarche à l'échelle régionale. *Cah Agric* 15, 578–583.
- Coe, J.J., 1990. Conjunctive use-advantages, constraints, and examples. *J Irrig Drain Eng* 116, 427–443. doi:10.1061/(ASCE)0733-9437(1990)116:3(427)#sthash.Udz2Zy5M.dpuf
- Collard, A.-L., Burte, J., 2014. La non-adhésion des agriculteurs du Sertão brésilien à la conversion de leur modèle agricole. *Etud Rurales* 2, 219–238.
- Côte, M., 2005. *La ville et le désert: le Bas-Sahara algérien*. KARTHALA, Paris, France.
- Côte, M., 2002. Des oasis aux zones de mise en valeur: L'étonnant renouveau de l'agriculture saharienne. *Méditerranée* 99, 5–14.
- Côte, M., 1998. Des oasis malades de trop d'eau? *Sci Chang planétaires/Sécheresse* 9, 123–130.
- Côte, M., 1991. Biskra. *Encycl berbère* 10, 1517–1522.
- Coward, E., 1979. Principles of social organization in an indigenous irrigation system. *Hum Organ* 38, 28–36.
- Coward, E.W., 1980a. Management themes in community irrigation systems, in: Coward, E.W. (Ed.), *Irrigation and Agricultural Development in Asia: Perspectives from the Social Sciences*. Cornell University Press, Ithaca and London, pp. 203–218.
- Coward, E.W., 1980b. *Irrigation and agricultural development in Asia: Perspectives from the social sciences*. Cornell University Press.
- Cox, M., Ross, J.M., 2011. Robustness and vulnerability of community irrigation systems: The case of the Taos valley acequias. *J Environ Econ Manage* 61, 254–266.
- Daoudi, A., Colin, J.-P., Derderi, A., Ouendeno, M.L., 2015. Mise en valeur agricole et accès

- à la propriété foncière en Steppe et au Sahara (Algérie). *Cah du Pôle Foncierôle Foncier* 13, 1–34.
- Despois, J., 1958. Le Souf et le Gourara (Sahara). *Ann Geogr* 67, 263–264.
- Díaz, F.J., Tejedor, M., Jiménez, C., Grattan, S.R., Dorta, M., Hernández, J.M., 2013. The imprint of desalinated seawater on recycled wastewater: Consequences for irrigation in Lanzarote Island, Spain. *Agric water Manag* 116, 62–72. doi:10.1016/j.agwat.2012.10.011
- Dongyuan, S.U.N., Yilihamu, F., Chengyi, Z., 2010. Progress in the study on conjunctive regulation of surface water and groundwater in arid inland river basins. *Prog Geogr* 28, 167–173. doi:10.11820/dlkxjz.2009.02.002
- Dubash, N.K., 2002. *Tubewell capitalism: groundwater development and agrarian change in Gujarat*. Oxford University Press.
- Dubash, N.K., 2000. Ecologically and socially embedded exchange - “Gujarat model” of water markets. *Econ Polit Wkly* 35, 1376–1385.
- Dubash, N.K., 1998. The “instituted process” of groundwater exchange in Gujarat, India. *Crossing Boundaries’ Seventh Annu Conf Int Assoc Study Common Prop Vancouver, Br Columbia, Canada* 10–14.
- Dubost, D., 1991. Le blé du Sahara peut-il contribuer à l’auto-suffisance de l’Algérie?(Can the wheat grown in the Sahara contribute to algerian food self-sufficiency?). *Bull Assoc Geogr Fr* 68, 311–320.
- Dubost, D., 1986. Nouvelles perspectives agricoles du Sahara algérien. *Rev Occident Musulman Mediterr* 41, 339–356.
- Dubost, D., Larbi-Youcef, Y., 1998. Mutations agricoles dans les oasis algériennes: l’exemple des Ziban. *Sci Chang planétaires/Sécheresse* 9, 103–110.
- Dubost, D., Moguedet, G., 1998. Un patrimoine menacé: les foggaras du Touat. *Sci Chang planétaires/Sécheresse* 9, 117–122.
- Durand, J., 1958. *Les sols irrigables. Étude pédologique*. IMPR. IMBERT, Alger, Algérie.
- Easter, K.W., Rosegrant, M.W., Dinar, A., 1999. Formal and Informal Markets for Water: Institutions, Performance, and Constraints. *World Bank Res Obs* 14, 99–116. doi:10.1093/wbro/14.1.99
- El-Erian, M., Eken, S., Fennell, S., Chauffour, J.P., 1996. *Growth and stability in the Middle East and North Africa*. International Monetary Fund Pamphlet.
- Evans, A., 2010. *Groundwater/Surface Water Dilemma in Arizona: A Look Back and a Look Ahead toward Conjunctive Management Reform*, The. *Phoenix L Rev* 3, 269–291.
- Farshad, A., Zinck, J.A., 1998. Traditional irrigation water harvesting and management in semiarid Western Iran: a case study of the Hamadan region. *Water Int* 23, 146–154.
- Fernald, A., Guldán, S., Boykin, K., Cibils, A., Gonzales, M., Hurd, B., Lopez, S., Ochoa, C., Ortiz, M., Rivera, J., 2015. Linked hydrologic and social systems that support resilience of traditional irrigation communities. *Hydrol Earth Syst Sci* 19, 293–307.
- Ferrer-Gallardo, X., 2011. *Territorial (Dis) Continuity Dynamics Between Ceuta And Morocco: Conflictual Fortification Vis-À-Vis Co-Operative Interaction At The Eu Border In Africa*.

- Tijdschr voor Econ en Soc Geogr 102, 24–38.
- Fisher, A., Fullerton, D., Hatch, N., Reinelt, P., 1995. Alternatives for managing drought: a comparative cost analysis. *J Environ Econ Manage* 29, 304–320. doi:10.1006/jeem.1995.1049
- 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., Van Steenberg, F., 2011. Conjunctive groundwater use: a “lost opportunity” for water management in the developing world? *Hydrogeol J* 19, 959–962. doi:10.1007/s10040-011-0734-1
- Foster, S.S.D., Chilton, P.J., 2003. Groundwater: the processes and global significance of aquifer degradation. *Philos Trans R Soc B Biol Sci* 358, 1957–1972. doi:10.1098/rstb.2003.1380
- Frija, A., Chebil, A., Speelman, S., 2016. Farmers’ Adaptation to Groundwater Shortage in the Dry Areas: Improving Appropriation or Enhancing Accommodation? *Irrig Drain* 65, 691–700. doi:10.1002/ird.1986
- Fujita, K., 2004. Transformation of groundwater market in Bengal: Implications to efficiency and income distribution, in: *The 18th European Conference on Modern South Asian Studies*, Lund, Sweden. pp. 6–9.
- Garrido, A., Llamas, M.R., 2009. Water Management in Spain: An example of changing paradigms. *Policy Strateg Behav water Resour Manag* 125–146.
- Garrido, S., 2014. Water management, Spanish irrigation communities and colonial engineers. *J Agrar Chang* 14, 400–418.
- Geertz, C., 1963. *Agricultural involution: the process of ecological change in Indonesia*. Univ of California Press.
- Ghiotti, S., 2006. Les Territoires de l’eau et la décentralisation. La gouvernance de bassin versant ou les limites d’une évidence. *Développement durable Territ Économie, géographie, Polit droit, Sociol.* doi:10.4000/developpementdurable.1742
- Gittell, J.H., Douglass, A., 2012. Relational bureaucracy: Structuring reciprocal relationships into roles. *Acad Manag Rev* 37, 709–733. doi:10.5465/amr.2010.0438
- Glick, T.F., 1970. *Irrigation and society in medieval Valencia*.
- Gousskov, N., 1952. *Eléments de technogéologie des barrages algériens et de quelques ouvrages annexes. - le barrage de Foum-el-Gherza*. XIX Congrès Géologique International, Alger, Algeria.
- Grandguillaume, G., 1973. Régime économique et structure du pouvoir: le système des foggara du Touat. *Rev Occident Musulman Méditerr* 13, 437–457.
- Guébourg, J.-L., 1998. *Socotra, une île hors du temps*. Presses Univ de Bordeaux.
- Guillermou, Y., 1993. *Survie et ordre social au Sahara. Les oasis du Touat-Gourara-Tidikelt en Algérie*. *Cah Sci Hum* 29, 121–138.
- Hall, I., 2008. Un canal comme support mnémotechnique pour la généalogie?. *Hautes Terres malgaches. Tech Cult Rev Semest d’anthropologie des Tech* 256–281.

- Hall, S., 1991. The local and the global: Globalization and ethnicity, in: King, A. (Ed.), *Culture, Globalization and the World-System*. Macmillan, Basingstoke, pp. 19–39.
- Hamamouche, M.F., Kuper, M., Hartani, T., Bouarfa, S., 2017a. Overlapping groundwater service markets in a palm grove in the Algerian Sahara. *Irrig Drain*. doi:10.1002/ird.2178
- Hamamouche, M.F., Kuper, M., Lejars, C., 2015. Émancipation des jeunes des oasis du Sahara algérien par le déverrouillage de l'accès à la terre et à l'eau. *Cah Agric* 24, 412–419. doi:10.1684/agr.2015.0777
- Hamamouche, M.F., Kuper, M., Riaux, J., Leduc, C., 2017b. Conjunctive use of surface and ground water resources in a community-managed irrigation system – the case of the Sidi Okba palm grove in the Algerian Sahara. *Agric water Manag* 193, 116–130. doi:10.1016/j.agwat.2017.08.005
- Hammani, A., Hartani, T., Kuper, M., Imache, A., 2009. Paving the way for groundwater management: Transforming information for crafting management rules. *Irrig Drain* 58, 240–251. doi:10.1002/ird.521
- Iglesias, A., Garrote, L., 2015. Adaptation strategies for agricultural water management under climate change in Europe. *Agric water Manag* 155, 113–124. doi:10.1016/j.agwat.2015.03.014
- Janakarajan, S., 1994. Trading in groundwater: a source of power and accumulation, in: Moench, M. (Ed.), *Selling Water: Conceptual and Policy Debates over Groundwater Markets in India*. VIKSAT, Ahmedabad, India, pp. 47–58.
- Janssen, M.A., Anderies, J.M., Ostrom, E., 2007. Robustness of social-ecological systems to spatial and temporal variability. *Soc Nat Resour* 20, 307–322.
- Kassah, A., 1998. Eau et développement agricole au Sahara maghrébin: enjeux, conflits et arbitrages. *Sci Chang planétaires/Sécheresse* 9, 95–102.
- Khiari, A., 2011. l'Atlas saharien et son piéùont Sud : un front pionnier aux portes du désert, in: Bensaâd, A. (Ed.), *L'eau et Ses Enjeux Au Sahara*. KARTHALA, Paris, France, pp. 173–190.
- Khiari, A., 2002. Une région pionnière dans le Sahara algérien: El Ghrouss. *Méditerranée* 99, 27–30. doi:10.3406/medit.2002.3256
- Khiati, M., 2008. *L'agriculture algérienne*. ANEP, Alger, Algérie.
- Khoumsi, W.E.L., Hammani, A., Kuper, M., Bouaziz, A., 2014. Deterioration of Groundwater in Arid Environments: What Impact in Oasis Dynamics? Case Study of Tafilalet, Morocco. *World Acad Sci Eng Technol Int J Environ Chem Ecol Geol Geophys Eng* 8, 764–770.
- Komakech, H.C., Mul, M.L., van der Zaag, P., Rwehumbiza, F.B.R., 2011. Water allocation and management in an emerging spate irrigation system in Makanya catchment, Tanzania. *Agric water Manag* 98, 1719–1726.
- Kouzmine, Y., 2012. *Le Sahara algérien, Intégration nationale et développement régional*. L'Harmattan, Paris, France.
- Kouzmine, Y., Avocat, H., 2007. L'eau et les territoires sahariens en Algérie, Mutations et enjeux, in: *Colloque International Eau, Ville et Environnement*. p. 255.
- Kuper, M., 2011. *Des destins croisés: regards sur 30 ans de recherches en grande hydraulique*.

- Kuper, M., Dionnet, M., Hammani, A., Bekkar, Y., Garin, P., Bluemling, B., 2009. 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, T., Barreteau, O., Hunt, R., Rinaudo, J., Ross, A. (Eds.), *Integrated Groundwater Management*. Springer, pp. 583–615.
- 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
- Lakhdari, F., Dubost, D., 2011. La situation agricole, vingt ans après les grands projets de mise en valeur du Sahara algérien, in: Bensaâd, A. (Ed.), *L'eau et Ses Enjeux Au Sahara*. KARTHALA, Paris, France, pp. 161–172.
- Lam, W.F., 1998. *Governing Irrigation Systems in Nepal: Institutions, Infrastructure, and Collective Action*. Institute for Contemporary Studies, Oakland, CA.
- Laureano, P., 2007. Ancient water catchment techniques for proper management of Mediterranean ecosystems. *Water Sci Technol Water Supply* 7, 237–244. doi:10.2166/ws.2007.027
- Lavie, E., Marshall, A., 2017. *Oases and Globalization: Ruptures and Continuities*. Springer.
- Lawrence, P., Van Steenberg, F., 2005. Improving community spate irrigation, in: Report OD 154 Release 1.0. London, HR Wallingford/DFID/META META.
- Leach, E.R., 1959. Hydraulic society in Ceylon. *Past Present* 2–26.
- Le Velly, R., 2007. Le problème du désencastrement. *Rev du MAUSS* 29, 241–256. doi:10.3917/rdm.029.0241
- Leduc, C., Pulido-Bosch, A., Remini, B., 2017. Anthropization of groundwater resources in the Mediterranean region: processes and challenges. *Hydrogeol J* 25, 1529–1547. doi:10.1007/s10040-017-1572-6
- Lewis, D.J., 1991. Technologies and transactions: a study of the interaction between new technology and agrarian structure in Bangladesh. *Technol Trans a study Interact between new Technol Agrar Struct Bangladesh*.
- Li, Z., Quan, J., Li, X.-Y., Wu, X.-C., Wu, H.-W., Li, Y.-T., Li, G.-Y., 2016. Establishing a model of conjunctive regulation of surface water and groundwater in the arid regions. *Agric water Manag* 174, 30–38. doi:10.1016/j.agwat.2016.04.030
- Lightfoot, D.R., 1996. Moroccan khattara: traditional irrigation and progressive desiccation. *Geoforum* 27, 261–273. doi:10.1016/0016-7185(96)00008-5
- Llamas, M., Martínez-Santos, P., 2005. Intensive groundwater use: silent revolution and potential source of social conflicts. *J Water Resour Plan Manag* 131, 337–341. doi:10.1061/(ASCE)0733-9496(2005)131:5(337)
- Llamas, M.R., Custodio, E., 2003. Intensive use of groundwater: a new situation which demands proactive action, in: Llamas, M.R., Custodio, E. (Eds.), *Intensive Use of*

- Groundwater: Challenges and Opportunities. AA Balkema Publishers, Leiden, The Netherlands, pp. 13–31.
- Llamas, M.R., Custodio, E., 2002. Intensive Use of Groundwater: Challenges and Opportunities. CRC Press.
- Llamas, R., 2003. Lessons learnt from the impact of the neglected role of groundwater in Spain's water policy. *Dev Water Sci* 50, 63–81.
- López-Gunn, E., Mayor, B., Dumont, A., 2012. Implications of the modernization of irrigation systems, in: De Stefano, L., Llamas, M.R. (Eds.), *Water, Agriculture and the Environment in Spain: Can We Square the Circle?* pp. 241–258.
- Mabry, J.B., 1996. *Canals and communities: Small-scale irrigation systems*. University of Arizona Press.
- Margat, J., 2008. *Exploitations et utilisations des eaux souterraines dans le monde*, Coédition: UNESCO et BRGM.
- Margat, J., Van der Gun, J., 2013. *Groundwater around the world: a geographic synopsis*. CRC Press.
- Mehari, A., Schultz, B., Depeweg, H., 2005. Where indigenous water management practices overcome failures of structures: the Wadi Laba spate irrigation system in Eritrea. *Irrig Drain* 54, 1–14.
- Mehari, A., van Steenberg, F., Schultz, B., 2007. Water Rights and Rules, and Management in Spate Irrigation Systems in Eritrea, Yemen and Pakistan, in: Van Koppen, B., Giordano, M., Butterworth, J. (Eds.), *Community-Based Water Law and Water Resource Management Reform in Developing Countries. Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture Series*. CAB International: Wallingford, UK; p 5, pp. 114–129.
- Meinzen-Dick, R., 1997. Farmer participation in irrigation—20 years of experience and lessons for the future. *Irrig Drain Syst* 11, 103–118.
- Meinzen-Dick, R.S., 1998. Groundwater markets in Pakistan: institutional development and productivity impacts, in: Easter, K., Rosegrant, M., Dinar, A. (Eds.), *Markets for Water*. Kluwer Academic Publishers: Boston, USA.
- Messar, E.M., 1996. Le secteur phoenicicole algérien: situation et perspectives à l'horizon 2010. *Options méditerranéennes* 2, 210–221.
- Ministères des ressources en eau, 2009. *Etude d'inventaire et de développement de la PMH : Rapport définitif RA3 Wilaya de Biskra*.
- Molle, F., Foran, T., Kakonen, M., 2012. *Contested waterscapes in the Mekong region: Hydropower, livelihoods and governance*. Earthscan, London, UK.
- Mosse, D., 1999. Colonial and contemporary ideologies of “community management”: the case of tank irrigation development in South India. *Mod Asian Stud* 33, 303–338.
- Mosse, D., 1997. The symbolic making of a common property resource: history, ecology and locality in a tank-irrigated landscape in south India. *Dev Change* 28, 467–504.
- Mubarak, J.A., 1998. Middle East and North Africa: Development policy in view of a narrow agricultural natural resource base. *World Dev* 26, 877–895. doi:10.1016/S0305-

- Mukherji, A., 2007. Implications of Alternative Institutional Arrangements in Groundwater Sharing Evidence from West Bengal. *Econ Polit Wkly* 42, 2543–2551.
- Mukherji, A., 2004. Groundwater markets in Ganga-Meghna-Brahmaputra basin: theory and evidence. *Econ Polit Wkly* 31, 3514–3520.
- Mustafa, D., Altz-Stamm, A., Scott, L.M., 2016. Water User Associations and the Politics of Water in Jordan. *World Dev* 79, 164–176. doi:10.1016/j.worlddev.2015.11.008
- Mustafa, D., Qazi, M.U., 2007. Transition from karez to tubewell irrigation: development, modernization, and social capital in Balochistan, Pakistan. *World Dev* 35, 1796–1813.
- Naouri, M., Hartani, T., Kuper, M., 2017. The “innovation factory”: user-led incremental innovation of drip irrigation systems in the Algerian Sahara, in: Venot, Jean-P.V., Kuper, M., Zwarteveen, M. (Eds.), *Drip Irrigation for Agriculture: Untold Stories of Efficiency, Innovation and Development*. Taylor & Francis, pp. 266–283.
- Naouri, M., Hartani, T., Kuper, M., 2015. Mobilités des jeunes ruraux pour intégrer les nouvelles agricultures sahariennes (Biskra, Algérie). *Cah Agric* 24, 379–386. doi:10.1684/agr.2015.0778
- Naresh, R.K., Minhas, P.S., Goyal, A.K., Chauhan, C.P.S., Gupta, R.K., 1993. Conjunctive use of saline and non-saline waters. II. Field comparisons of cyclic uses and mixing for wheat. *Agric water Manag* 23, 139–148.
- O’Hara, S.L., 1999. Irrigation and water management in Turkmenistan: past systems, present problems and future scenarios. *Eur Asia Stud* 51, 21–41. doi:10.1080/09668139999100
- Ortega-Reig, M., Palau-Salvador, G., i Sempere, M.J.C., Benitez-Buelga, J., Badiella, D., Trawick, P., 2014. The integrated use of surface, ground and recycled waste water in adapting to drought in the traditional irrigation system of Valencia. *Agric water Manag* 133, 55–64. doi:10.1016/j.agwat.2013.11.004
- Ortega-Reig, M.V., 2015. Collective management of irrigation in eastern Spain. Integration of new technologies and water resources.
- Ostrom, E., 1993. Design principles in long-enduring irrigation institutions. *Water Resour Res* 29, 1907–1912. doi:10.1029/92WR02991
- Ostrom, E., 1992. Crafting institutions for self-governing irrigation systems.
- Ostrom, E., 1990. Governing the Common. *Evol Institutions Collect*.
- Otmane, T., Kouzmine, Y., 2013. Bilan spatialisé de la mise en valeur agricole au Sahara algérien. Mythes, réalisations et impacts dans le Touat-Gourara-Tidikelt. *Cybergeo Eur J Geogr* 632. doi:10.4000/cybergeo.25732
- Palanisami, K., Easter, K.W., 1991. Hydro-economic interaction between tank storage and groundwater recharge. *Indian J Agric Econ* 46, 174–179.
- Palanisami, K., Meinzen-Dick, R., Giordano, M., 2010. Climate change and water supplies: options for sustaining tank irrigation potential in India. *Econ Polit Wkly* 45, 183–190.
- Palmer - Jones, R., 2001. Irrigation service markets in Bangladesh: private provision of local public goods and community regulation, in: Paper Presented at Symposium on Managing

- Common Resources: What Is the Solution? Lund University, Sweden, September 10-11.
- Pavelic, P., Patankar, U., Acharya, S., Jella, K., Gumma, M.K., 2012. Role of groundwater in buffering irrigation production against climate variability at the basin scale in South-West India. *Agric water Manag* 103, 78–87.
- Pedrero, F., Kalavrouziotis, I., Alarcón, J.J., Koukoulakis, P., Asano, T., 2010. Use of treated municipal wastewater in irrigated agriculture—Review of some practices in Spain and Greece. *Agric water Manag* 97, 1233–1241.
- Perennes, J.-J., 1992. Un aspect de la question hydraulique au Maghreb: la politique des barrages. *Egypte Monde Arabe* 10, 37–50. doi:10.4000/ema.1407
- Pérez, I., Janssen, M., Tenza, A., Giménez, A., Pedreño, A., Giménez, M., 2011. Resource intruders and robustness of social-ecological systems: an irrigation system of Southeast Spain, a case study. *Int J Commons* 5, 410–432. doi:doi.org/10.18352/ijc.278
- Peterson, J.H., 2012. A conceptual unpacking of hybridity: Accounting for notions of power, politics and progress in analyses of aid-driven interfaces. *J Peacebuilding Dev* 7, 9–22. doi:10.1080/15423166.2012.742802
- Petit, O., Kuper, M., López-Gunn, E., Rinaudo, J.-D., Daoudi, A., Lejars, C., 2017. Can agricultural groundwater economies collapse? An inquiry into the pathways of four groundwater economies under threat. *Hydrogeol J* 25, 1549–1564. doi:10.1007/s10040-017-1567-3
- Peyron, G., 2000. *Cultiver le palmier-dattier*. Editions Quae.
- Prakash, A., 2005. *The dark zone : groundwater irrigation, politics and social power in North Gujarat*. New Delhi, India: Wageningen University Water Resources Series. Orient Longman. doi:10.13140/RG.2.1.1622.2167
- Pulido-Velazquez, M., Andreu, J., Sahuquillo, A., 2006. Economic optimization of conjunctive use of surface water and groundwater at the basin scale. *J Water Resour Plan Manag* 132, 454–467. doi:10.1061/(ASCE)0733-9496(2006)132:6(454)#sthash.Dzy8OdoL.dpuf
- Raffestin, C., Bresso, M., 1982. Tradition, modernité, territorialité. *Cah Geogr Que* 26, 185–198. doi:10.7202/021557ar
- Rebai, A.O., Hartani, T., Chabaca, M.N., Kuper, M., 2017. Une innovation incrémentielle: la conception et la diffusion d'un pivot d'irrigation artisanal dans le Souf (Sahara algérien). *Cah Agric* 26. doi:10.1051/cagri/2017024
- Remini, B., Achour, B., 2008. Vers la disparition de l'une des plus grandes foggaras d'Algérie: la foggara d'El Meghier. *Sci Chang planétaires/Sécheresse* 19, 217–221.
- Remini, B., Achour, B., Albergel, J., 2011. Timimoun's foggara (Algeria): an heritage in danger. *Arab J Geosci* 4, 495–506. doi:10.1007/s12517-010-0139-9
- Remini, B., Wassila, H., 2006. L'envasement des barrages des régions semi-arides et arides: quelques exemples algériens, in: *The Future of Drylands, Side Event Hydrological Changes in Arid and Semiarid Areas under Climatic and Human Influences: Focus on the Mediterranean Region* (Int. Conf., Tunis, Tunisia, 21 June 2006).
- Riaux, J., 2011. Faut-il formaliser les règles de gestion de l'eau? Une expérience dans le Haut Atlas. *Cah Agric* 20, 67–72.

- Riaux, J., 2006. Gérer la pénurie d'eau: "dynamiques structurées" des règles communautaires en contexte méditerranéen, in: Conférence Internationale WATARID, Urumqi (Chine) 9-12 Octobre 2006.
- Riaux, J., Massuel, S., 2014. Construire un regard sociohydrologique (2). Le terrain en commun, générateur de convergences scientifiques. *Natures Sci Sociétés* 22, 329–339.
- Rica, M., López-Gunn, E., Llamas, R., 2012. Analysis of the emergence and evolution of collective action: An empirical case of Spanish groundwater user associations. *Irrig Drain* 61, 115–125.
- Rudolph, L.I., Rudolph, S.H., 1984. *The modernity of tradition: Political development in India*. University of Chicago Press, Chicago, USA.
- Sabatier, J.L., Ruf, T., 1995. La gestion sociale de l'eau. *Infores'eau* 6, 9–11.
- Saleth, R.M., 1994. Groundwater Markets in India: A Legal and Institutional Perspective. *Indian Econ Rev* 29, 157–176.
- Sanchis-Ibor, C.A., Salvador, G.P., Alferez, I.M., Sanmartin, L.P.M., 2014. Irrigation, Society and Landscape. Tribute to Tom F. Glick. Editorial Universitat Politècnica de València.
- SCET coop, 1969. Monographie des grands barrages en Algérie : Barrage de Foug El Gherza. presses du Ministère d'Hydraulique.
- Schlager, E., 2007. Community Management of Groundwater, in: Giordano, M., Villholth, K.G. (Eds.), *The Agricultural Groundwater Revolution: Opportunities and Threats to Development*. Iwmi,colombo Sri Lanka,i CABI Publication, Wallingford UK and Cambridge MA, USA, pp. 131–152.
- Schlager, E., Blomquist, W., Tang, S.Y., 1994. Mobile flows, storage, and self-organized institutions for governing common-pool resources. *Land Econ* 70, 294–317.
- Scoones, I., Devereux, S., Haddad, L., 2005. Introduction: New directions for African agriculture. *IDS Bull* 36, 1–12.
- Scott, C.A., Garces-Restrepo, C., 2001. Conjunctive management of surface water and groundwater in the middle Río Lerma Basin, Mexico.
- Sese-Minguez, S., Boesveld, H., Asins-Velis, S., van der Kooij, S., Maroulis, J., 2017. Transformations accompanying a shift from surface to drip irrigation in the Canyoles Watershed, Valencia, Spain. *Water Altern* 10, 81–99.
- Shafik, 1995. *Claiming the Future: Choosing Prosperity in the Middle East and North Africa*. World Bank, Washington, USA.
- Shah, T., 2010. *Taming the anarchy: Groundwater governance in South Asia*. Resources for the Future, Washington, DC USA, IWMI, Colombo Sri Lanka.
- Shah, T., 2009. Climate change and groundwater: India's opportunities for mitigation and adaptation. *Environ Res Lett* 4, 35005.
- Shah, T., 1993. *Groundwater markets and irrigation development*. Mumbai, India: Oxford Univ. 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., Ballabh, V., 1997. Water Markets in North Bihar: Six Village Studies in Muzaffarpur District. *Econ Polit Wkly* 32, A183–A190. doi:10.2307/4406234
- Shah, T., Bhattacharya, S., 1993. Farmer organisations for lift irrigation: Irrigation companies and tubewell co-operatives of Gujarat. ODI/IIMI Irrig Manag Netw Pap 26 (United Kingdom).
- 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.
- Shetty, S., 2006. Water, food security and agricultural policy in the Middle East and North Africa region. The World Bank, Middle East and North Africa, Working Paper Series No 47.
- Siderius, C., Boonstra, H., Munaswamy, V., Ramana, C., Kabat, P., van Ierland, E., Hellegers, P., 2015. Climate-smart tank irrigation: A multi-year analysis of improved conjunctive water use under high rainfall variability. *Agric water Manag* 148, 52–62.
- Singh, A., 2014. Conjunctive use of water resources for sustainable irrigated agriculture. *J Hydrol* 519, 1688–1697.
- Sophocleous, M., 2002. Environmental implications of intensive groundwater use with special regard to streams and wetlands, in: Ramon Llamas, M., Custodio, E. (Eds.), *Intensive Use of Groundwater: Challenges and Opportunities*. CRC Press Boca Raton, Louisiana, pp. 93–112.
- Strosser, P., 1997. Analysing alternative policy instruments for the irrigation sector. An assessment of the potential for water market development in the Chishtian sub-division. Wageningen Agricultural University (Netherlands), Dept. of Water Resources.
- Swyngedouw, E., 1999. Modernity and hybridity: nature, regeneracionismo, and the production of the Spanish waterscape, 1890–1930. *Ann Assoc Am Geogr* 89, 443–465. doi:10.1111/0004-5608.00157
- Swyngedouw, E., Kaika, M., Castro, E., 2002. Urban water: a political-ecology perspective. *Built Environ* 28, 124–137.
- Taïbi, A.N., Moguedet, G., Boukchina, R., Ababsa, F., Gaouar, A., Lakhdari, F., Dubost, D., Violleau, D., Picard-Bonnaud, F., Kirane, D., 2003. La ressource en eaux non conventionnelles facteur de développement en zone saharienne, in: *Conférence Internationale «Hydrologie Des Régions Méditerranéennes et Semi-Arides»*, ENSA.
- Toumi, A., Remini, B., 2004. Barrage de Fom El Gherza face au problème de fuites d'eau. *Larhyss J* 3, 25–38.
- Trawick, P.B., 2001. Successfully governing the commons: Principles of social organization in an Andean irrigation system. *Hum Ecol* 29, 1–25.
- Turrall, H., Svendsen, M., Faures, J.M., 2010. Investing in irrigation: reviewing the past and looking to the future. *Agric water Manag* 97, 551–560.
- Van Aken, M., Molle, F., Venot, J.-P., 2009. Squeezed dry: the historical trajectory of the Lower Jordan River Basin, in: Molle, F., Philippus, W. (Eds.), *River Basin Trajectories: Societies, Environments and Development*. Wallingford, UK: CABI; Colombo, Sri Lanka:

- IWMI, pp. 20–46.
- Van Der Kooij, S., 2016. Performing drip irrigation by the farmer managed Seguia Khrichfa irrigation system, Morocco. Wageningen University.
- Van der Kooij, S., Kuper, M., Venot, J.-P., Zwarteveen, M., 2014. Beyond tradition and modernity: the resilience of a farmer managed irrigation system in transition to drip irrigation, in: *Resilience and Development: Mobilising for Transformation*. Centre Pour La Communication Scientifique Directe, Montpellier (France) 4-8 Mai 2014. Centre pour la Communication Scientifique Directe.
- Van der Kooij, S., Zwarteveen, M., Kuper, M., 2015. The material of the social: the mutual shaping of institutions by irrigation technology and society in Seguia Khrichfa, Morocco. *Int J Commons* 9, 129–150. doi:10.18352/ijc.539
- Van Steenberg, F., 1997. Understanding the sociology of spate irrigation: cases from Balochistan. *J Arid Environ* 35, 349–365.
- Van Steenberg, F., 1995. The frontier problem in incipient groundwater management regimes in Balochistan (Pakistan). *Hum Ecol* 23, 53–74.
- van Steenberg, F., Oliemans, W., 2002. A review of policies in groundwater management in Pakistan 1950–2000. *Water policy* 4, 323–344.
- Venot, J., Zwarteveen, M., Kuper, M., Boesveld, H., Bossenbroek, L., Kooij, S. Van Der, Wanvoeke, J., Benouniche, M., Errahj, M., Fraiture, C. De, 2014. Beyond the promises of technology: a review of the discourses and actors who make drip irrigation. *Irrig Drain* 63, 186–194.
- Walker, B., Holling, C.S., Carpenter, S., Kinzig, A., 2004. Resilience, adaptability and transformability in social–ecological systems. *Ecol Soc* 9, 5.
- Wateau, F., 2001. Objet et ordre social. D’une canne de roseau à mesurer l’eau aux principes de fonctionnement d’une communauté rurale portugaise. *Terrain* 37, 153–161. doi:10.4000/terrain.1364
- Wittfogel, K., 1964. *Le despotisme oriental. Étude comparative du pouvoir total*. Éditions de Minuit, Paris, France.
- Woods, M., 2007. Engaging the global countryside: globalization, hybridity and the reconstitution of rural place. *Prog Hum Geogr* 31, 485–507. doi:10.1177/0309132507079503
- Yang, H., Zehnder, A.J.B., 2002. Water scarcity and food import: a case study for southern Mediterranean countries. *World Dev* 30, 1413–1430. doi:10.1016/S0305-750X(02)00047-5
- Young, G., Zavala, H., Wandel, J., Smit, B., Salas, S., Jimenez, E., Fiebig, M., Espinoza, R., Diaz, H., Cepeda, J., 2010. Vulnerability and adaptation in a dryland community of the Elqui Valley, Chile. *Clim Change* 98, 245–276.
- Zhang, L., Wang, J., Huang, J., Rozelle, S., 2008. Development of Groundwater Markets in China: A Glimpse into Progress to Date. *World Dev* 36, 706–726. doi:10.1016/j.worlddev.2007.04.012
- Zimmerer, K.S., 2011. The landscape technology of spate irrigation amid development changes: Assembling the links to resources, livelihoods, and agrobiodiversity-food in the

Bolivian Andes. *Glob Environ Chang* 21, 917–934.

Annexes

Annexes

Tableau A. Liste des annexes

Objectifs	Personnes ressources	Outils	Mission de terrain	Annexe N°
Dynamique générale et histoire du territoire oasien de Sidi Okba	<p>Communauté oasienne :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Agriculteurs - Doyens du village, - Président de la coopérative de la gestion de l'eau agricole <p>Cadres administratifs :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Subdivisionnaire hydraulique de Sidi Okba - Subdivisionnaire agricole de Sidi Okba - Chef d'exploitation du barrage de Fom El Gherza - Cadres de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) - Cadres de la Direction des Ressources en Eau de la Wilaya de Biskra - Cadres de la Direction des Services Agricoles (DSA) de la Wilaya de Biskra 	<ul style="list-style-type: none"> - Guide d'entretien 	1 ^{er} semestre de l'année 2013	1
Accès à l'eau souterraine	<ul style="list-style-type: none"> - Propriétaires des forages 	<ul style="list-style-type: none"> - GPS - Questionnaire 	1 ^{er} semestre de l'année 2013	2
Allocation et distribution historique des eaux de surface (eaux de lâchers et eaux de fuites du barrage)	<p>Communauté oasienne :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Usagers d'eau - Membres de la coopérative de la gestion de l'eau agricole - Aiguadiers <p>Cadres administratifs :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Subdivisionnaire hydraulique de Sidi Okba - Chef d'exploitation du barrage 	<ul style="list-style-type: none"> - Guide d'entretien - SIG - Suivi hydraulique - Observation - Carte parlée 	2 ^{ème} semestre de l'année 2013	3
Allocation et distribution des eaux souterraines	<p>Communauté oasienne :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Usagers d'eau - Membres de la coopérative de la gestion de l'eau agricole - Fournisseurs informels d'eau souterraine - Aiguadiers <p>Cadres administratifs :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Subdivisionnaire hydraulique de Sidi Okba - Cadres de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) 	<ul style="list-style-type: none"> - Guide d'entretien - SIG - Suivi hydraulique - Observation 	2 ^{ème} semestre de l'année 2013	4

	<ul style="list-style-type: none"> - Cadres de la Direction des Ressources en Eau de la Wilaya de Biskra - Cadres de la Direction des Services Agricoles (DSA) de la Wilaya de Biskra 			
<p>Mesures hydrométriques & estimation des volumes d'eau</p> <p>Mesures chimiques</p>		<p>Eaux de surface :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Micro-moulinet <p>Eaux souterraines :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Débitmètre à ultrason - Factures d'électricité - Consommation électrique Kw/h <p>Eaux souterraines :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Conductivité Électrique - pH - Température 	<p>Entre 2013 et 2015</p> <p>1^{er} trimestre de l'année 2015</p>	5
<p>Diagnostic agraire : Trajectoires des exploitations agricoles</p>	Agriculteurs (propriétaires terriens)	<ul style="list-style-type: none"> - Récit de vie - Questionnaire - SIG 	Entre 2014 et 2015	6
<p>Suivi technico économiques d'un échantillon d'exploitations agricoles entre 2009 et 2014</p>	Agriculteurs (propriétaires terriens)	<ul style="list-style-type: none"> - Questionnaire 	1 ^{er} trimestre de l'année 2015	7
Album photo				8

Annexe N° 1 : Dynamique du territoire oasien de Sidi Okba

Axe N°1 : Guide d'entretiens

Les entretiens ont été menés à la fois avec les agriculteurs (146 entretiens) et les cadres administratifs (21). Ils ont porté sur la dynamique générale et histoire du territoire oasien de Sidi Okba. Les axes d'entretien étaient les suivants :

- Les aménagements hydrauliques : historique, type d'aménagements (barrage, réseau d'irrigation, ouvrages hydrauliques, technologies de pompage des eaux souterraines), données disponibles (rapports, cartes, fichiers numériques) ;
- Le développement agricole, et en particulier les extensions : systèmes de production (cultures, élevage), assolements, configuration des exploitations agricoles, acteurs ;
- Les grands leviers et facteurs contribuant au déverrouillage des ressources (terre et eau souterraines) : politiques agricoles (réformes agraires, Loi d'APFA 83-18, etc.), programmes de subvention (GCA, PNDA, etc.) ;
- La diversité géographique des dynamiques agricoles et leurs origines : agriculture oasienne traditionnelle dans l'ancienne palmeraie, nouvelles formes d'agriculture saharienne dans les extensions.

Annexe N° 2 : Accès à l'eau souterraine

Tous les forages présents à l'intérieur de l'ancienne palmeraie de Sidi Okba (19), et dans l'extension Tadjdid (60), ont été recensés, localisés et caractérisés. Un questionnaire a été développé dans ce sens. Il porte principalement sur trois axes :

- Des généralités ;
- L'aspect technique ;
- L'évolution des profondeurs de captage des eaux souterraines.

Questionnaire

Enquête N° :

Date :

Secteur :

Nom & Prénom du ou des propriétaires du forage :

GSM :

Nom du forage :

Coordonnées Lambert :

N ° ' "	E ° ' "
------------------------	------------------------

Sa localisation / réseau de la séguia : loin proche très proche extension

Axe N°1 : Généralités

Année de creusement :

Par qui : société artisan son origine :

Nom :

Etat du forage :

fonctionnel en arrêt n'a jamais fonctionné pas encore fonctionnel

Si non fonctionnel :

Depuis quand ?

Pour quelles raisons ?

Coût de revient :

Origine du capital d'investissement :

- Héritage
- Fonction : agriculture, commerce ou autre
 - Etranger /pays :
 - Subventions

Financement : étatique individuel collectif

Si étatique : il a été cédé : CAGE autre :

Si collectif :

Le nombre d'actionnaires :

Le montant de la contribution : Da / Oudjeba (12h) ; le tour d'eau : jours

Quelles sont les raisons qui ont poussé ces personnes d'investir en un forage collectif ?

Quels sont les intérêts collectifs et personnels ?

D'où vient cette idée ?

Statut juridique : étatique privé

Si privé : légal subventionné (GCA, PNDA) illicite

Si subventionné : Taux : montant (Da)

Il a été cédé : un agriculteur groupe d'agriculteurs / nombre :

Si illicite : pour quelles raisons avez-vous opté pour ce choix ?

Quelle est la démarche à suivre ? Qui contacté ?

Gestion : individuelle CAGE collective

Si collective : groupe restreint d'agriculteurs association d'agriculteur informelle

Usage : individuelle collective

Si collectif :

Décrivez les règles d'allocation de l'eau du forage

Décrivez le fonctionnement et l'organisation des tours d'eau

Type de structure collective :

Nombre d'adhérents à la structure collective :

La liste des clients :

Transactions autour de l'eau du forage : oui non

Lesquelles : Vente location autres :

Si vente :

Prix horaire de la vente de l'eau (Da/h)		
	Actionnaires au forage	Non actionnaires au forage
Eau		

Avez-vous revalorisé le prix de l'eau depuis la réalisation du forage : oui non

Si oui :

Adhérents	Quand ?	De combien ?
Actionnaires		
Non actionnaires		

Pour quelles raisons ? Et sur quelle base ?

Axe N°2 : Technique

Profondeur (m) :

Nappes captées : Phréatique Mio-pliocène Pontienne

Avez-vous procédé à la cimentation du forage : oui non

Si c'est oui :

De combien de mètre :

Pour quelles raisons ?

Tubage :

Matériel : TNRS d'occasion API plastique

Pourquoi choisir ce matériel ?

Diamètre : uniforme hétérogène (rétrécissement)

Pourquoi ?

Source d'énergie : électricité groupe électrogène

Si c'est électricité : moyenne tension (transformateur) : individuel collectif / (kVA) :

faible tension (ligne agricole) / (Amp) :

Pourquoi choisir cette source d'énergie ?

Motopompe :

Type de la pompe : immergée verticale

Caractéristique :

Marque	PPM calage (m)	Puissance de la pompe (A)	Débit théorique (l/s)

Déversement : séguia rigoles d'irrigation réseau d'irrigation à l'échelle de l'EA

Si séguia :

Sur quelles séguias : principales secondaires tertiaires

Nom des séguias :

Tour d'eau entre les séguias secondaires : jrs

Nom des séguias approvisionnées	Nbre d'usagers/séguia	Zone de commande du forage (ha)

Axe N°3 : Evolution des profondeurs de captage des eaux souterraines

Profondeurs de la pompe		Caractéristiques des pompes		
Année	Profondeur (m)	Année	Puissance (A)	Diamètre (cm)

Annexe N° 3 : Distribution et allocation des eaux de surface

La compréhension de la distribution et de l'allocation des eaux de surface (lâchers et fuites du barrage) s'est basée principalement sur 4 outils : un guide d'entretien, l'observation sur le terrain et un suivi hydraulique, des SIG, et une carté parlée.

Axe N°1 : Guide d'entretien

Les entretiens ont été menés à la fois avec les usagers d'eau (48 entretiens) et les cadres administratifs (2). Ils ont porté sur l'histoire du système irrigué de surface en lien avec les différentes ressources en eau intégrées dans ce système. Les axes d'entretien étaient les suivants :

- L'évolution du fonctionnement du système irrigué de surface et de son organisation collective ;
- Les événements et facteurs qui ont marqué cette évolution ;
- Les propriétés physiques des eaux de surface (lâchers et fuites du barrage) ;
- L'aire d'irrigation du barrage de Foug El Gherza ;
- Le réseau d'irrigation à l'intérieur de l'ancienne palmeraie de Sidi Okba : canal d'irrigation principal, canaux d'irrigation secondaires, prises d'eau des canaux ;
- Les jeux de pouvoirs, les arrangements ou les conflits autour de l'accès et l'usage des eaux de surface ;
- Les adaptations institutionnelles et matérielles.

Axe N°2 : Observation des règles de distribution des eaux de surface

Suivi d'un lâcher d'eau du barrage en septembre 2013



Photos 1. Répartiteur (mesksem) El Zab



Photo 2. Canal d'amenée



Photos 3. Fuites d'eau de la rive gauche



Photos 4. Allocation des eaux de lâchers à l'intérieur de l'ancienne palmeraie

Axe N°3 : Carte parlée



Photos 5. Cartographie participative

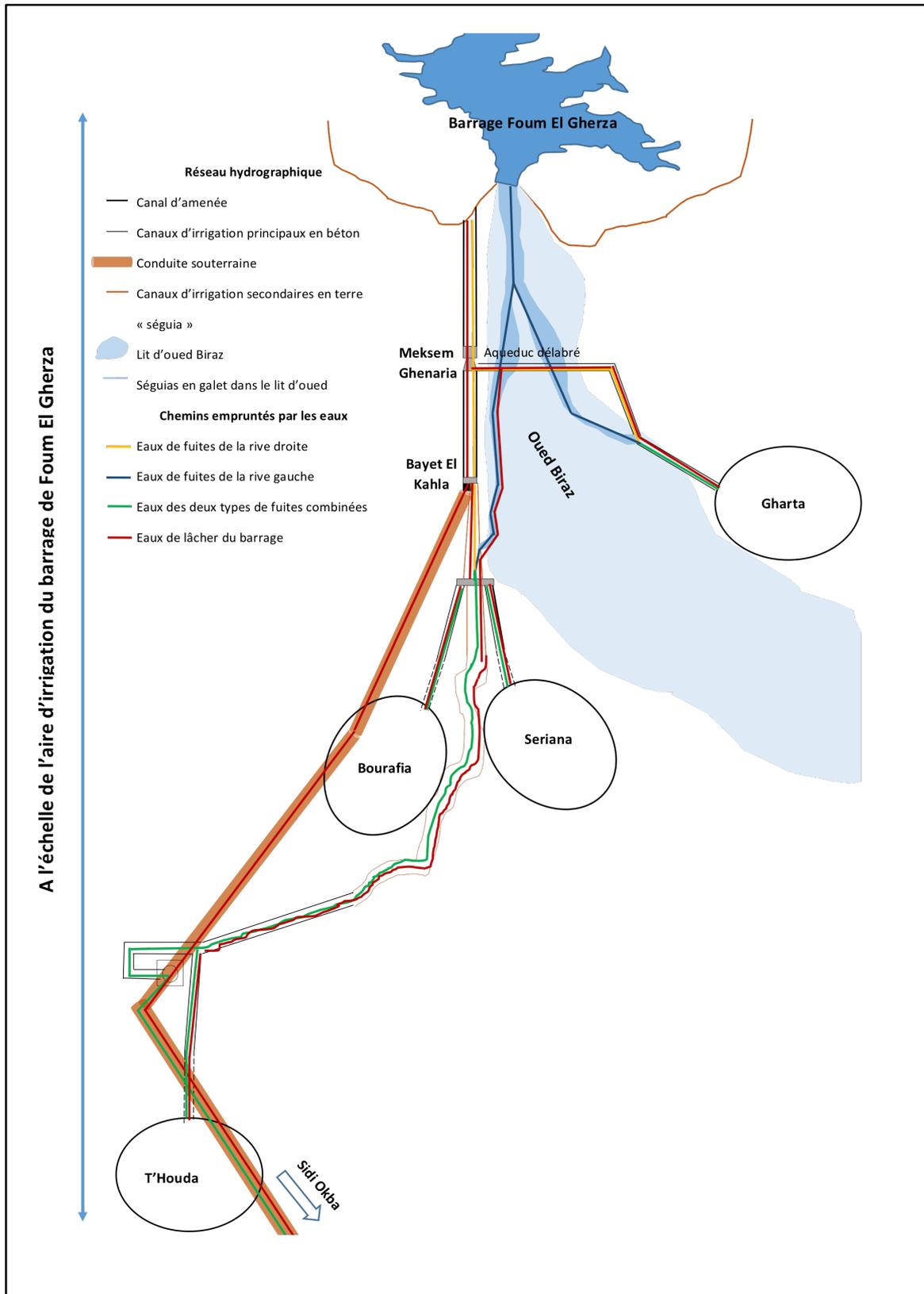


Figure A. Reconstitution de la carte parlée à l'échelle de l'aire d'irrigation du barrage

Annexe N° 4 : Distribution et allocation des eaux souterraines à l'intérieur de l'ancienne palmeraie

La compréhension de la distribution et de l'allocation des eaux souterraines, s'est basée sur 3 outils : un guide d'entretien, un suivi hydraulique et l'observation, des SIG permettant de formaliser nos informations.

Axe N°1 : Guides d'entretien

Les entretiens ont été menés à la fois avec les usagers d'eau (une cinquantaine d'entretiens) et les cadres administratifs (une dizaine). Ils ont porté principalement sur l'intégration des eaux souterraines dans un ancien système irrigué de surface. Les axes d'entretien étaient les suivants :

- Le fonctionnement des forages et leurs zones de commande ;
- La cohabitation de plusieurs groupes de fournisseurs d'eau dans un même espace ;
- L'émergence et l'évolution des marchés de l'eau souterraine (formels et informels) et le prix de vente de l'eau ;
- Les indicateurs techniques et économiques des marchés de l'eau souterraine ;
- L'approvisionnement en eau souterraine des canaux d'irrigation secondaires ;
- Les stratégies de vente de l'eau développées par les différents fournisseurs d'eau
- Les jeux de pouvoirs, les arrangements ou les conflits autour de l'accès et l'usage de l'eau souterraine ;
- L'existence ou non d'un monopole socio-ethnique ou économique dans l'accès à l'eau souterraine ;
- Utilisation conjuguée des eaux souterraines et de surface ;
- Les adaptations institutionnelles et matérielles.

Axe N°2 : Observation des règles de distribution des eaux souterraines

Suivi de l'écoulement des eaux souterraines dans le réseau d'irrigation de surface existant durant le 2^{ème} semestre de l'année 2013.



Photos 6. Déversement des eaux souterraines dans les canaux d'irrigation secondaires



Photos 7. Allocation et distribution des eaux souterraines à l'intérieur de l'ancienne palmeraie

Annexe N° 5 : Mesures hydrométriques

Axe N°1 : Eaux de surface (lâchers et fuites d'eau du barrage)

Jaugeage au micro-moulinet :

Le jaugeage consiste à calculer le débit à partir du champ de vitesse déterminé dans une section transversale du cours d'eau ou d'un canal d'eau. Du fait que la vitesse varie latéralement d'une berge à l'autre et verticalement de la surface de l'eau au fond du lit, il faut mesurer la vitesse à différents points de la section mouillée.



Photos 8. Station de jaugeage et hydrométrie

Estimation des débits d'eau de surface :

Les formules de l'hélice qui donne la vitesse du courant sont : $n < 0,59 \quad v = 0,4387 n + 0,050$ et $n \geq 0,59 \quad v = 0,5220 n + 0,001$ (sachant que n est le nombre de tour de l'hélice par seconde).

Date		27/09/2013		Hélice										
Mesure		lâcher d'eau 2 ème jr		N°		4								
Méthode		micro moulinet		Référence		34390								
Endroit		canal d'amenée		Compteur										
Largeur (m)		2,15		N°		F6								
Coordonnées		Google Earth		Référence		40387								
$n < 0,59 \quad v = 0,4387 n + 0,050$ $n \geq 0,59 \quad v = 0,5220 n + 0,001$														
Heure	Section	Abscisse (m)	profondeur (m)	Nbre de tours (n)	Temps (s)	n/s	Vitesse (m/s)	V moy /abscisse	Par section					
									V moy (m/s)	Largeur (m)	Profondeur (m)	Section mouillée (m²)	Débit (m³/s)	
	A	0,00	0,72	0	30	0,000	0,05	0,050						
		0,50	0,77					0,590	0,320	0,500	0,745	0,373	0,1191	
	B	0,74	0,77	31	30	1,017	0,5317		0,532	0,500	0,765	0,383	0,2034	
		0,39	0,77	41	30	1,367	0,7144							
		0,03	0,77	30	30	1,000	0,523							
	C	1,00	0,76					0,474	0,539	0,500	0,765	0,383	0,2060	
		0,73	0,76	22	30	0,733	0,3838							
		0,38	0,76	33	30	1,083	0,5665							
		0,03	0,76	27	30	0,900	0,4708							
	D	1,5	0,77					0,603	0,537	0,500	0,745	0,373	0,2001	
		0,74	0,77	25	30	0,817	0,4273							
		0,39	0,77	47	30	1,546	0,8078							
		0,03	0,77	33	30	1,100	0,5752							
	E	2	0,72					0,471	0,260	0,150	0,715	0,107	0,0279	
		0,69	0,72	19	30	0,633	0,3316							
		0,36	0,72	27	30	0,900	0,4708							
		0,03	0,72	35	30	1,167	0,61							
	F	2,15	0,71	0	30	0,000	0,05	0,050						
												Total débit Q (m³/s)		0,75653
												Total débit Q (l/s)		757

Figure C. Exemple d'estimation du débit d'un lâcher d'eau du barrage

Axe N°2 : Eaux souterraines

Débitmètre à ultrason

Cet appareil mesure le débit d'un fluide dans une conduite par ultrasons.



Photos 9. Mesures de débit d'eau souterraine prélevée

Estimation des volumes pompés

Les prélèvements d'eau souterraine de l'année 2014 ont été estimés par une méthode indirecte qui se base sur l'extrapolation des heures de pompage via les consommations annuelles de l'électricité (kWh). Pour cela, il a fallu, d'un côté, récupérer les factures annuelles d'électricité de tous les forages auprès de l'agence chargée de la distribution d'électricité, et d'un autre côté, faire des relevés sur le terrain de la consommation (Kw) par heure sur le compteur de la consommation électrique de chaque forage.



Photos 10. Deux modèles de compteurs de la consommation électrique

Un exemple d'estimation du volume annuel pompé d'un forage, est présenté ci-dessous :

Date	Consommation cumulée kWh/mois	Consommation kWh/mois	Consommation max kW/h	Durée moy de pompage (h/mois)	Volume pompé (m ³ /mois)	Volume pompé en 2014 (Mm ³ /an)
01/05/2015	395925		30	0	0	
01/04/2015	380059	15866	30	468	34177	
01/03/2015	360882	19177	31	566	41309	
01/02/2015	342144	18738	31	553	40363	
01/01/2015	328827	13317	31	393	28686	
01/12/2014	313455	15372	35	454	33113	0,5
01/11/2014	297304	16151	36	477	34791	
01/10/2014	287549	9755	35	288	21013	
01/09/2014	263531	24018	35	709	51737	
01/08/2014	238545	24986	34	737	53822	
01/07/2014	214029	24516	34	723	52810	
01/06/2014	190359	23670	34	698	50988	
01/05/2014	166537	23822	35	703	51315	
01/04/2014	144552	21985	35	649	47358	
01/03/2014	120877	23675	35	699	50998	
01/02/2014	114308	6569	35	194	14150	
01/01/2014	114071	237		7	511	
01/12/2013	114051	20	35	1	43	
01/11/2013	113439	612		18	1318	
01/10/2013	113435	4	39	0	9	

*Débit moyen (m³/h) 73
 Consommation moy (kW/h) 33,9

* deux campagnes de mesures 2014 et 2015

Figure D. Exemple d'estimation du volume pompé d'un forage appartenant à une association d'agriculteur

Axe N°3 : Mesures chimiques des eaux souterraines

Appareil de mesure : HANNA HI 981229

Cet appareil mobile mesure trois paramètres qui sont : la Conductivité Electrique, le pH et la Température.



Figure E. Appareil de mesures chimiques de l'eau

L'évaluation de la qualité des eaux souterraines pompées s'est basée sur la classification de la salinité proposée par (Durand, 1958) .

Tableau B. Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation

Conductivité électrique (dS/m)	Concentration (g/l)	Evaluation de Durand pour l'Algérie
CE < 0,25	< 0,2	Non saline
0,25 < CE < 0,75	0,2-0,5	Salinité moyenne
0,75 < CE < 2,25	0,5-1,5	Forte salinité
2,25 < CE < 5	1,5-3	Très forte salinité
5 < CE < 20	3-7	Salinité excessive

Annexe N° 6 : Diagnostic agraire

Le diagnostic agraire a été réalisé sur l'ensemble des exploitations agricoles (56) que compte l'extension Tadjdid, ainsi qu'une trentaine dans l'ancienne palmeraie. Il s'est basé sur 3 outils : récit de vie, questionnaire et SIG

Axe N°1 : Récit de vie

Les entretiens ont été menés avec les propriétaires terriens des exploitations agricoles (56 entretiens dans l'extension Tadjdid et une trentaine dans l'ancienne palmeraie). Ils ont porté sur la trajectoire personnelle des agriculteurs et sur l'analyse diachronique de leurs exploitations agricoles. Les entretiens étaient axés sur les périodes clés, les événements, les changements et les facteurs qui ont participé aux transformations territoriales et agricoles en dehors des anciennes palmeraies, tels que :

- Les processus de verrouillage et de déverrouillage de l'eau : intégration des différentes ressources en eau dans le système irrigué ;
- Les processus de verrouillage et de déverrouillage du foncier : promulgation de différentes réformes et lois agraires (RA 1971, APFA 1983, etc) ;
- Changements de statut foncier (Aârch, concession RA 1971, APFA 83, privé) ;
- Programmes de subventions (PNDA, ANSEJ, CNAC, etc) ;
- Impacts sur la dynamique agricole au sein des exploitations agricoles (frein/levier) en ce qui concerne l'assolement, la superficie irriguée, la localisation géographique des parcelles et les systèmes de production.

Axe N°2 : Questionnaire

Les entretiens ont été menés avec les propriétaires terriens des exploitations agricoles (56 entretiens dans l'extension Tadjdid et une trentaine dans l'ancienne palmeraie). Ils ont porté sur l'analyse diachronique des facteurs de production (Terre, eau, capital, main d'œuvre), mais également sur le système agraire de la campagne agricole 2013-2014.

Date : N° d'enquête :

Particularité de l'exploitation :

Nom & Prénom de l'agriculteur :

Origine :

GSM :

Age : *Niveau d'instruction :*

Statut au sein de la
famille :

Nom de l'aârch :

Superficie totale de l'EA : ha

Situation de l'exploitation agricole : réunie : fragmentée en groupe de parcelles

Localisation géographique de l'exploitation agricole et de ses parcelles sur Google Earth.

1. Analyse diachronique des facteurs de production

Terre

Statut juridique actuel de l'EA / Groupe de parcelles : Privé APFA Concession autre :

Modes d'acquisition :

Modes d'acquisition	Superficie (ha)	Année	Localisation (périmètre, secteur, séguia)	Coût (Da)
Héritage				-
Location				
Achat				
Concession				-
Association				-
Appropriation				

Acte : coutumier notarié autre :

Si achat :

De chez qui ?

Qui vous a mis en relation avec cette personne ?

Pourquoi cette personne a voulu vendre sa terre ?

A-t-elle vendue toute sa terre ou bien une partie ?

Que y'avait-il dans l'EA (puits, forages, palmiers...) ?

Si héritage :

Comment le partage s'est effectué (superficie, variété de palmiers, localisation, droits d'eau) ?

Avez déjà vendu une ou des parcelles de votre exploitation ? Nues ou cultivées ? Pour quelles raisons ? Quand est-ce que ? A quel prix ? A qui ?

Si Appropriation puis régularisation via APFA « *faite accompli* » :

Comment vous vous êtes appropriés la terre ? Comment le partage s'est effectué entre les membres du même aârch ? Existe-t-il des inégalités entre les membres du même aârch ? plus de détails.

Eau

Eaux de surfaces : lâchers et fuites d'eau du barrage de Foum El Gherza

Types	M. acquisition	Depuis quand ?	Droits d'eau (h)	Prix (Da/h)	Cultures ?
	Héritage, achat, location, donation...		Temps accordé (h)		
Lâcher					
Fuites					

Informations supplémentaires (revalorisation des prix, modification des droits d'eau, périodes clés...)

Eau souterraine (forage) : étatique association d'agriculteur vendeur d'eau privé vendeur d'eau occasionnel collectif restreint individuel

Si collectif :

Structure de gestion	Droit d'eau (h)	M. acquisition	Contribution		Depuis quand ?	Prix (Da/h)	Tour d'eau (jrs)	Culture	Temps accordé/ Palmier ou ha
		Héritage, achat, location, donation	Act/ non act	Montant (Da)					

Informations supplémentaires (revalorisation des prix, modification des droits d'eau, périodes clés...)

Capital d'investissement (terre et forage) :

Origine : Héritage

Fonction : agriculture, commerce ou autre

Etranger (émigration) :

Subventions / type :

Taux

Montant (Da)

Informations supplémentaires :

Main d'œuvre :

Familiale : Nbre :

Nombre d'actifs au sein de l'exploitation :

Statuts : métayers (1/2, 1/3, 1/4) ouvriers (journalier, saisonnier, permanent)

autres :

Qui fait quoi ? et qui paye qui ?

Informations supplémentaires :

Techniques d'irrigation :

Technique d'irrigation	Gravitaire	californien	localisée
Date d'introduction			
Date de reconversion			
Cultures			

2. Analyse diachronique des Systèmes de production

Localisation géographique des groupes de parcelles et les ouvrages hydrauliques (forages, séguia, réseau d'irrigation parcellaire) sur Google Earth

Structure de l'exploitation agricole :

N° de groupe de parcelles	localisation	Superficie (ha)	N° de Parcelles	Assolement	Superficie, nbre/culture	Ressources en eau utilisées	Techniques d'irrigation

Organisation de l'irrigation (distribution des tours d'eau) entre les parcelles, utilisant la même ressource en eau.

Elevage

Elevage		Depuis quand ?	Nombre de tête
Ovin			
Caprin			
Bovin	V laitière		
	De viande		
Camelin			

3. Calendrier cultural de la campagne agricole en cours

Types d'information	Calendrier cultural sep 2013 – dec 2014											
Par parcelle	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	A
Cultures												
Pratiques culturales entretien trant (fumier, engrais, phytosanitaires)												
Ressources en eau												
Techniques d'irrigation												
Pratique d'irrigation durée d'irrigation (h) débit (l/s - m ³ /h) jour d'eau (jrs)												
Main d'œuvre familiale, métayers, ouvriers surface (tâches)												
Restations de service												
Rendement (Qx)/ culture												
Fourchette de prix (Da/kg)												

Annexe N° 7 : Suivi technico-économique d'un échantillon d'exploitations agricoles sur 5 campagnes agricoles (2009-2014)

Des enquêtes technico-économiques ont été menées sur un échantillon de 12 exploitations agricoles : 6 exploitations agricoles dont les parcelles sont situées à l'intérieur de l'ancienne palmeraie, 4 exploitations agricoles dont les parcelles sont situées dans l'extension Tadjdid, et 2 exploitations agricoles dont les parcelles sont dispersées dans les deux espaces. Cet échantillon a été élaboré de sorte qu'il :

- représente la diversité des exploitations agricoles dans la zone d'étude ;
- représente les différents groupes socio-ethniques présents dans les deux espaces irrigués ;
- montre la divergence des bénéfices agricoles des exploitations agricoles situées dans la palmeraie et celles des extensions ou dans les deux espaces. Les indicateurs économiques ont été estimés sur cinq campagnes agricoles allant de 2009 à 2014.

Questionnaire

Date :

N° d'enquête :

Nom de l'agriculteur :

Age :

Axe N°1 : Palmier dattier

Parcelle N° :

Localisation géographique :

Main d'œuvre

Est-ce que vous faites appel à la main d'œuvre : oui non, pourquoi ?

Pour quelles pratiques agricoles ?

La prestation horaire est-elle au même prix ? oui non, mentionnez les prix

Récolte : vous-même kharess (intermédiaire), pourquoi ?

Opérations de la récolte	Nbre d'ouvriers	Nbre de jours de travail	Prix du service (Da/4h)
Cueillette			
Ramassage			
Tri			

Intrants

Est-ce que vous apportez des intrants : oui non

Engrais : oui non, pourquoi ?

Pour quelles variétés de palmiers : commerciale (deglet noir) locales toutes les variétés

Nombre d'apport/an : nbre de sac de 50kg/sac

Fumier : oui non, pourquoi ? quel type : volaille caprin ovin bovin

Fréquence : / an(s), type d'apport : graduel en une seule fois

Pour quelles variétés de palmiers : commerciale (deglet noir) locales toutes les variétés

Nombre de camion : , nombre de cuvettes/camion : , capacité du camion : (t)

Eau

Nombre de bassins d'irrigation / parcelle : , capacité moyenne d'un bassin : m³

Variétés	Deglet nour	Djebbar (jeune palmier)	Gharess	Degla beida	Mech degla	Autres
Nbre de palmiers/ parcelle						
Nbre palmiers/ bassin						

Eaux	Campagnes	2009-2010	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014
Lâchers	Nbre/an					
	Nbre heures achetées/irrigation					
	Prix horaire (Da)					
Fuites	Nbre/an					
	Nbre heures achetées/irrigation					
	Prix horaire (Da)					
	Durée de transport (h)					
Souterraines	Nbre/an					
	Nbre heures achetées/irrigation					
	Prix horaire (Da)					
	Durée de transport (h)					
	Nom du fournisseurs d'eau					

Rendement

Variétés	Campagnes	2009-2010	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014
Deglet noir	Rdt/palmiers (kg)					
	1 ^{er} choix					
	2 ^{ème} choix					
	3 ^{ème} choix					
Gharess	Rdt/palmiers (kg)					
Mech degla	Rdt/palmiers (kg)					
Degla beida	Rdt/palmiers (kg)					
autres	Rdt/palmiers (kg)					

Remarques :

Axe N°2 : Cultures sous serres

Parcelle N° :

Localisation géographique :

Nombre de serres par métayer : , Type de métayage :

Cultures	Campagnes	2009-2010	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014
Tomate	Nbre de serre					
	Charges (da/serre)					
	Revenus brutes (da/serre)					
	Bénéfices (da/serre)					
Poivron	Nbre de serre					
	Charges (da/serre)					
	Revenus brutes (da/serre)					
	Bénéfices (da/serre)					
Aubergine	Nbre de serre					
	Charges (da/serre)					
	Revenus brutes (da/serre)					
	Bénéfices (da/serre)					
Melon	Nbre de serre					
	Charges (da/serre)					
	Revenus brutes (da/serre)					
	Bénéfices (da/serre)					

Remarques :

Axe N°3 : Arboriculture

Parcelle N° :

Localisation géographique :

Intercalaire	Campagnes	2009-2010	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014
	Arboriculture					
Nbre de pieds	Figuiers					
	Grenadiers					
	Agrumes					
	Poiriers					
	Pommiers					
	Oliviers					

Charges hors eau (Da)					
Revenus brutes (Da)					
Bénéfices hors eau (Da)					

Mono-culture	Campagnes	2009-2010	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014
	Arboriculture					
Nbre de pieds	Figuiers					
	Grenadiers					
	Agrumes					
	Poiriers					
	Pommiers					
	Oliviers					

Charges hors eau (Da)					
Revenus brutes (Da)					
Bénéfices hors eau (Da)					

Remarques :

Axe N°4 : Cultures de plein champ

Parcelle N° :

Localisation géographique :

Campagnes		2009-2010	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014
Céréales						
Cultures (ha)						

Charges hors eau (Da)					
Revenus brutes (Da)					
Bénéfices hors eau (Da)					

Campagnes		2009-2010	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014
Maraîchage						
Cultures (ha)						

Charges hors eau (Da)					
Revenus brutes (Da)					
Bénéfices hors eau (Da)					

Campagnes		2009-2010	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014
Légumineuses						
Cultures (ha)						

Charges hors eau (Da)					
Revenus brutes (Da)					
Bénéfices hors eau (Da)					

Remarques :

Annexe N°8 : Album photo

La première série de photos montre le barrage Foum El Gherza



Photo 11. Vue sur l'amont de la digue voûte du Barrage de Foum El Gherza (Mars 2015)



Photo 12. Vue sur la cuvette du barrage de Foum El Gherza (Mars 2015)

La deuxième série de photos montre les ouvrages de captage des eaux souterraines



Photo 13. Forage creusé au milieu d'un puits (extension Tadjdid)



Photo 14. Bassin d'irrigation approvisionné par de l'eau souterraine (extension Tadjdid)



Photo 15. Déversement de l'eau souterraine pompée dans la séguia Bouzitouna (l'ancienne palmeraie de Sidi Okba)

La troisième série de photos montre la diversité culturelle dans les extensions



Photo 16. Agriculture oasienne à étages (extension Tadjdid)



Photo 17. Arbres fruitiers comme culture étagère.



Photo 18. Palmiers dattiers de variété deglet noir (à la périphérie de l'ancienne palmeraie de Sidi Okba)



Photo 19. Culture d'oignon vert irriguée par goutte à goutte (dans l'extension Tadjdid)



Photo 20. Semences céréalières irriguées par planches (dans l'extension Tadjdid)



Photo 21. Culture de gombo irriguée par rigoles (dans l'extension Tadjdid)



Photo 22. Rangées de serres tunnels (dans l'extension Tadjdid)



Photo 23. Culture de tomate sous serre (dans l'extension Tadjdid)

La quatrième série de photos montre l'organisation familiale au sein d'une exploitation agricole à Tadjdid



Photo 24. Récolte de l'oignon vert



Photo 25. La récolte des oignons verts par les moins jeunes



Photo 26. La préparation des bottes d'oignons verts par les plus jeunes



Photo 27. Vers le marché de gros de M'Ziraâ

La cinquième série de photos donne un aperçu du rôle de la femme dans l'agriculture saharienne



Photo 28. Le tri des dattes par des ouvrières



Photo 29. La récolte du gombo par des ouvrières



Photo 30. Des ouvrières en plein travail

Title: Renewal of a community-managed irrigation system with the unlocking of access to deep groundwater. The case of the Sidi Okba palm grove in the Algerian Sahara

Key words: community-managed irrigation system, oasis, groundwater, surface water, renewal, Saharan agriculture, Algeria.

Abstract

The future of community-managed irrigation systems is increasingly questioned with the arrival of modern technologies of groundwater exploitation, more conducive to crop intensification and to individual initiatives. In this thesis, we develop a methodology to investigate how irrigation communities seize ‘modernity’ to, on the one hand, renew their community-managed irrigation system by adapting the infrastructure and the irrigation institutions, and on the other hand, to improve their living standards and social status by seizing the economic opportunities to develop a market agriculture on new irrigated spaces. A more nuanced reading of the transformations is, therefore, possible to describe and analyze the renewal of ancient hydraulic systems without obliterating neither the continuities nor the ruptures that they traverse, even in case of the juxtaposition of ‘traditional’ and ‘modern’ systems. This research focused on the Sidi Okba oasis in the Algerian Sahara. This territory is interesting for our study as the use of modern technologies for deep groundwater exploitation contributed actively to transform its community spate irrigation system into two separate irrigated spaces: the ancient palm grove where the community continues to irrigate collectively and the extensions where agriculture is based on private tube-wells. This territory is complex by the mobilization of several water resources (dam releases, dam leakages and groundwater exploited from phreatic and confined aquifers), but also by the juxtaposition of two forms of Saharan agriculture. To unravel the complexity, in time and space, we developed an interdisciplinary and multi-scalar analytical framework. This framework allowed us to show, first, the capacity for agricultural renewal after the collapse of the community spate irrigation system. The community seized opportunities to develop a market agriculture in new irrigated areas while maintaining a family organization inherited from traditional oasis agriculture. Second, the availability of pumped groundwater enabled the survival of the ancient palm grove. We showed the importance of adaptations of irrigation infrastructure in addition to crafting the rules in the renewal of the collective irrigation system. Third, the use of the analytical framework revealed how the irruption of modern pumping technologies and socio-economic opportunities in the new irrigated spaces modified, transformed and accelerated the restructuring of social relations in the community irrigation system of the ancient palm grove. Fourth, our analysis illustrated the territorial continuity between the two irrigated spaces. Thus, the new irrigated spaces are a *creatio ex materia* of the traditional oasis system of Sidi Okba. Through our research, we conclude that it is important to consider the ancient and new irrigated areas as one and same territory by recognizing both territorial complexity, hybridity in each space, and existing interactions between traditional and modern systems. The analytical framework developed in this thesis offers the necessary tools to read and understand the renewal of community-managed irrigation systems in order to face the current profound climatic, environmental, ecological and socio-economic vulnerabilities.

Titre : Renouveau d'un système irrigué communautaire suite au déverrouillage de l'accès aux eaux souterraines profondes. Cas du territoire oasisien de Sidi Okba dans le Sahara algérien

Mots clés : système irrigué communautaire, oasis, eau souterraine, eau de surface, renouveau, agriculture Saharienne, Algérie.

Résumé

Face à l'arrivée de technologies modernes d'exploitation des eaux souterraines plus propices à l'intensification culturale et aux initiatives privées sur de nouveaux espaces irrigués, le devenir des systèmes irrigués communautaires pose question. Dans cette thèse, nous proposons de renouveler le regard sur la façon dont les communautés d'irrigants s'emparent de la modernité, d'un côté pour renouveler leur système irrigué communautaire en adaptant les infrastructures et les institutions d'irrigation, et d'un autre côté, pour améliorer leur niveau de vie et leur statut social en saisissant les opportunités économiques de développer une agriculture de marché sur de nouveaux espaces irrigués. Ainsi, une lecture plus nuancée des transformations est possible pour décrire et analyser le renouveau des systèmes hydrauliques anciens sans oblitérer ni les continuités ni les ruptures qu'ils traversent, y compris quand cela concerne la juxtaposition de systèmes « traditionnels » et « modernes ». Ce travail s'est focalisé sur le territoire oasisien de Sidi Okba dans le Sahara algérien. Ce territoire est intéressant pour notre étude par le fait que l'utilisation de technologies modernes d'exploitation des eaux souterraines profondes a contribué activement à transformer son système irrigué communautaire d'épandage de crue en deux espaces irrigués distincts : l'ancienne palmeraie où la communauté continue à irriguer collectivement et les extensions où l'agriculture se fait à partir de forages privés. Ce territoire est complexe par la mobilisation de plusieurs ressources en eau - lâchers et fuites du barrage, eaux souterraines des nappes phréatique et captive-, mais également par la juxtaposition de deux formes d'agriculture sahariennes. Pour dénouer l'écheveau de cette complexité, dans le temps et dans l'espace, nous avons développé un cadre d'analyse interdisciplinaire et multiscalair. Ce cadre nous a permis de montrer, premièrement, les capacités de renouvellement agricole après l'effondrement du système irrigué communautaire d'épandage de crue. La communauté a su saisir les opportunités pour développer une agriculture de marché dans les nouveaux espaces irrigués tout en maintenant une organisation familiale héritée de l'agriculture oasisienne traditionnelle. Deuxièmement, la mobilisation de l'eau souterraine profonde a permis d'éviter le déclin de l'ancienne palmeraie. Nous avons montré l'importance des adaptations des infrastructures d'irrigation en plus du façonnage des règles dans le renouvellement du système irrigué collectif. Troisièmement, notre analyse a montré comment l'irruption de technologies modernes de pompage et les opportunités socio-économiques dans les nouveaux espaces irrigués, ont infléchi, transformé et accéléré la recomposition des relations sociales dans le système irrigué communautaire de l'ancienne palmeraie. Quatrièmement, notre analyse a permis d'illustrer la continuité territoriale entre les deux espaces irrigués. Ainsi, les nouveaux espaces irrigués sont une *creatio ex materia* du système oasisien traditionnel de Sidi Okba. À travers notre recherche, nous concluons qu'il est important de considérer les anciens et les nouveaux espaces irrigués comme un seul et même territoire hybride en reconnaissant à la fois la complexité territoriale, l'hybridité dans chaque espace, et les interactions existantes entre les systèmes traditionnels et modernes. Le cadre d'analyse développé dans cette thèse offre les outils nécessaires pour lire et comprendre le renouveau des systèmes irrigués communautaires pour faire face à des vulnérabilités climatiques, environnementales, écologiques et socio-économiques bien réelles.