



Université d'Oran 2
Faculté des Sciences de la Terre et de l'Univers
Avec le soutien de l'UMR G-Eau à Montpellier

THESE

Pour l'obtention du diplôme de Doctorat en Sciences
En Géographie et Aménagement du Territoire
Option : Eau, agriculture et environnement

Aménagement de l'espace oasien à foggara face aux changements
des conditions hydrogéologiques et socio-économiques.

- Cas des oasis de Touat, Gourara et Tidikelt (Sahara algérien) -

Présentée et soutenue publiquement par :
M. Salem IDDA

Devant le jury composé de :

OTMANE Tayeb	Professeur	Université d'Oran 2	Président
MANSOUR Hamidi	Professeur	Université d'Oran 2	Directeur de thèse
BELLAL Sid Ahmed	Professeur	Université d'Oran 2	Codirecteur de thèse
BOUSQUET François	Directeur de recherche	CIRAD (UR. Green)	Examineur
HARTANI Tarik	Professeur	C.U de Tipaza	Examineur
KUPER Marcel	Directeur de recherche	CIRAD (UMR. G-Eau)	Examineur
BONTÉ Bruno	Chargé de recherche	IRSTEA (UMR. G-Eau)	Invité

Année 2018/2019

Dédicace

Je dédie ce travail à mes parents, ma femme et mes fils :

Mounir et le nouveau né Mohammed Nadir

Remerciements

En premier lieu, je remercie mon directeur de thèse M. Mansour Hamidi pour son accompagnement appréciable, son encouragement et sa disponibilité durant toute cette période de réalisation de ma thèse. Je remercie aussi M. Bellal Sid-Ahmed d'avoir accepté de codiriger ce travail et de participer aux différents comités de thèse.

Mes remerciements vont également à mes encadreurs de stage à Montpellier, Mrs. Bruno Bonté et Marcel Kuper, de l'UMR G-Eau de Montpellier, pour tout ce qu'ils ont fait pour l'aboutissement de ce travail. Leurs aides, conseils et orientations m'ont beaucoup aidé pour avancer dans mon travail de recherche.

Je tiens à exprimer mes remerciements aux membres du Jury : Mrs. Otmane Tayeb de l'Université d'Oran 2, François Bousquet de l'UR Green à Montpellier et Tarik Hartani du C.U de Tipaza, pour avoir accepté d'évaluer et examiner ce travail et de s'intéresser à la problématique de ma recherche.

Je remercie vivement le département de géographie de l'Université d'Oran 2 dans lequel j'ai commencé mes études de géographie et j'ai fait cette thèse de doctorat. Je remercie en particulier les enseignants qui étaient intéressés à ce travail et m'ont aidé, orienté ou encouragé, en particulier Mrs. Dari, Ghoubani et Zanoune.

Ce travail n'aurait pu être mené à fin sans l'accueil de l'UMR G-eau de Montpellier, dans laquelle j'ai passé mon séjour dans des conditions idéales. Je vous remercie beaucoup d'avoir m'accueilli durant plus de 18 mois dans le cadre d'élaboration de cette thèse. Je remercie tout particulièrement les chercheurs de l'UMR qui ont participé aux débats dans les différentes réunions dans lesquelles j'ai présenté mes travaux : Olivier, Sami, Katrin, Anne-laure, Amal, François, Jean-Yves, Stefano, Farida, Farah, Geraldine, Raphaël, ... et tous les membres de l'équipe Adaptation, vos remarques et orientations étaient précieuses pour l'avancement de cette recherche. Je remercie également l'ensemble du personnel de l'Unité, surtout l'assistante CIRAD Carmen et la documentaliste Isabelle pour leur aide.

Mes remerciements et ma reconnaissance vont également à M. Omar Bessaoud à l'IAM de Montpellier pour sa bienveillance, sa disponibilité et ses encouragements.

Je n'oublie pas de remercier mes amis de Montpellier : Menad et sa famille pour leur hospitalité dès le premier jour de mon arrivée, Mohammed, Sid-Ali, Yamine, Dihia, Amal, ...

Je remercie vivement les services de l'administration à Adrar pour leurs aides : la DSA, la direction des forêts, la DRE, la DPAT, l'APC de Tammest, l'Observatoire de la foggara, ... Je remercie également tous mes collègues à la faculté des sciences et de la technologie, en particulier le département SNV de l'Université d'Adrar, et je n'oublie pas mon collègue et cher ami Ahmed El Abbadi de département de l'économie.

Je ne peux pas passer sans remercier les oasiens qui ont participé aux différents travaux d'enquêtes dans les trois parties de ma zone d'étude (Lahmeur, Ouled Aissa, Aoumeh, Elouajda, Timimoune, Ouled Said, Brinkene, Ouled Brahim, Ghram Ali, Tittaf, Ghram Yannou, Aoulef, Zaouiet Kounta, Baameur, Bouguemma, Tasfaout, ...).

Enfin, je remercie tous les membres de ma famille, surtout ma femme, pour leurs encouragements et leur patience avec moi durant toutes ces années d'élaboration de la thèse.

Salem

Résumé :

Depuis environ cinq décennies, le Sahara algérien fait l'objet de multitudes interventions qui visent l'amélioration des conditions de vie de la population locale, l'intégration des territoires de sud dans le territoire national et le développement d'une agriculture saharienne qui peut contribuer à atteindre la sécurité alimentaire de l'Algérie. Dans les zones de Touat, Gourara et Tidikelt, de nouveaux périmètres de mise en valeur agricole ont été mis en place à côté des anciennes oasis. Ces dernières se distinguent par le système d'irrigation communautaire des foggaras mis en difficulté après l'introduction des forages exploitant l'eau souterraine pour l'irrigation de manière intensive. Cette nouvelle situation a été accompagnée d'un discours sur le déclin des foggaras et, par conséquent, de l'agriculture oasisienne « *traditionnelle* » considérées incapables de faire face aux transformations sociales, économiques et environnementales récentes. Ce travail s'inscrit en faux contre cette thèse du déclin des foggaras et souhaite explorer non seulement les ruptures mais aussi les continuités du système oasisien à foggara. L'objectif de cette thèse est d'analyser les fondements de la résistance du système oasisien à foggara à la lumière des transformations sociales, économiques et environnementales récentes. Cette recherche vise en particulier à démontrer les conditions qui ont permis la durabilité de l'agriculture dans ces régions, et contribuer au renouveau de l'agriculture saharienne, *traditionnelle* et *moderne*, dans le contexte d'Adrar.

À travers une entrée par le système à foggara et une analyse à la lumière de l'approche des communs, nous montrons dans cette thèse que c'est grâce aux institutions de gestion fortes façonnées par les oasisiens que ce système d'irrigation communautaire est encore maintenu aujourd'hui dans un contexte hostile. Nous proposons également de porter un nouveau regard sur la foggara qui ne doit pas être réduite à son seul dispositif hydraulique permettant l'écoulement gravitaire de l'eau. Nous argumentons que la notion de la foggara intègre bien des institutions de gestions et des valeurs de solidarité et d'action collective qui sont des éléments essentiels pour le maintien de l'agriculture oasisienne dans des conditions arides extrêmes. Par l'étude des foggaras de l'oasis de Lahmeur dans le Touat, alimentées par un forage, nous analysons les nouvelles stratégies développées par les oasisiens face aux transformations dans la zone. Nous démontrons à travers cet exemple la capacité des oasisiens à faire des ajustements par l'hybridation du dispositif hydraulique, de la structure et des règles de gestion afin de perpétuer le fonctionnement du système irrigué. Cette thèse permet, d'une part, de souligner certaines ruptures observées dans le fonctionnement du système des foggaras, et, d'autre part, de démontrer les continuités et les ajustements opérés par les acteurs dans un contexte saharien en forte mutation.

En ce qui concerne les nouveaux périmètres de mise en valeur agricole, nous argumentons que l'agriculture saharienne a été sauvé grâce à l'intégration des savoir-faire paysans dans les nouveaux périmètres. Dans l'autre sens, nous montrons également que les moyens et les techniques *modernes* ont permis le maintien de l'agriculture dans les ancienne oasis. L'analyse de quelques exemples a permis de démontrer l'émergence de trois modèles de l'agriculture saharienne à Adrar : i) une agriculture rentière quasi dépendante du soutien et de l'accompagnement de l'État, ii) une agriculture entrepreneuriale, souvent transitoire, fragile et très sensible aux risques liés au marché et à l'aridité extrême, et iii) une agriculture paysanne

qui réintègre la logique et les pratiques de l'agriculture oasienne. En descendant dans notre analyse à l'échelle de l'exploitation agricole, nous démontrons que l'agriculture saharienne dans les périmètres de mise en valeur a été sauvée grâce à l'intégration des pratiques et des logiques oasiennes « *traditionnelles* ». En contrepartie, l'introduction des techniques modernes a donné un appui à l'agriculture oasienne. En plus, nous démontrons qu'il est difficile d'atteindre les objectifs fixés pour l'agriculture saharienne à Adrar sans mettre en place un modèle qui réintègre les savoir-faire paysans séculaires, faute de quoi les oasis se retournent de plus en plus vers le secteur oasien traditionnel. Ainsi, le renouveau de l'agriculture oasienne, en intégrant les techniques *modernes*, reste le scénario le plus prévisible actuellement.

Pour révéler la force des institutions dans la préservation de l'action collective autour des foggaras et mettre en débat les dynamiques récentes de l'agriculture saharienne entre les deux secteurs, *traditionnel* et de mise en valeur, en relation avec la dynamique de la ressource en eau souterraines, nous avons choisi d'élaborer un Système Multi-Agent (SMA) appelé AISSA appliqué à l'oasis d'Ouled Aissa dans le Gourara. Le modèle permet de rendre explicites les différentes articulations et interactions entre les composantes du système oasien. Ce modèle est une synthèse de nos résultats sur les oasis étudiées et permet la mise en place d'une approche transdisciplinaire et multi-échelles qui intègre les différents points de vue, issus de disciplines scientifiques différentes, sur l'explication des transformations du système oasien à foggara. Afin de représenter les dynamiques en relation avec les règles de gestion du système, l'exploitation des terrains agricoles et la mise en place de nouveaux moyens de captages des eaux souterraines, un premier sous-modèle a été élaboré pour décrire les dynamiques agricoles, l'utilisation de l'eau et les stratégies des oasisiens entre les deux secteurs *traditionnel* et de mise en valeur. Par la suite, et afin d'intégrer l'hydrodynamique souterraine et le contexte hydrogéologique local de l'oasis, le modèle a été couplé avec un autre modèle de la nappe d'eau souterraine. La présentation du modèle AISSA auprès des chercheurs et des techniciens de terrain a permis une discussion sur la question d'interférence forage-foggara qui reste encore peu étudiée dans la littérature scientifique. Malgré les multitudes dynamiques représentées, la présentation du modèle pour des oasisiens a montré leur retour, à chaque fois, à discuter l'importance des institutions dans le fonctionnement et le maintien de l'agriculture dans les oasis. Ils considèrent les autres composantes du système à foggara incapables d'assurer la durabilité du système sans réintégrer des bonnes règles de gestion. En parallèle, ces discussions ont permis d'accueillir de nouvelles informations sur le système oasien à foggara.

Mots-clés : *oasis - foggara – institutions – agriculture saharienne – Adrar.*

Sommaire

Introduction générale.....	11
1. Introduction	12
2. Problématique et objectifs de recherche	13
3. Contexte naturel du Touat, Gourara et Tidikelt	18
4- Méthodologie de recherche	21
5- Organisation du manuscrit	30
Chapitre I : La force des institutions : une autre lecture du système à foggara pour en analyser sa résilience	32
1. Introduction	33
2. Approche méthodologique	37
3. La foggara : principe de fonctionnement et organisation sociale	40
4. Résultats : Les foggaras dans la zone d'étude : Ruptures et continuités.....	44
4.1. D'un bien familial à un bien commun	44
4.1.1. L'oasis de Tasfaout : des foggaras qui continuent d'être entretenues.....	44
4.1.2. L'oasis de Ghram Ali : renforcement par un puits motorisé et travail familial rémunéré	46
4.1.3. Les oasis de Kasbat Maikhaf et Zaouit Hainoune : l'entretien par les familles est dorénavant payant	47
4.1.4. Dans le Gourara : un entretien réduit en cas de crise	48
4.1.5. Les oasis de l'erg dans le Gourara : une situation critique, mais un retour d'intérêt pour les foggaras	48
5. Une lecture des institutions des foggaras à la lumière des principes de gestion proposés par Ostrom.....	50
5.1. Les droits d'accès doivent être clairement définis (Clearly defined boundaries) ..	51
5.2. Les avantages doivent être proportionnels aux coûts assumés (Congruence between appropriation and provision rules and local conditions).....	53
5.3. Des procédures doivent être mises en place pour faire des choix collectifs (Collective-choice arrangements)	55
5.4. Des règles de supervision et surveillance doivent exister (Monitoring).....	56
5.5. Des sanctions graduelles et différenciées doivent être appliquées (Graduated sanctions)	56
5.6. Des mécanismes de résolution des conflits doivent être institués (Conflict-resolution mechanisms)	57

Sommaire

5.7. L'État doit reconnaître l'organisation en place (Minimum recognition of rights to organize)	58
5.8. L'ensemble du système est organisé à plusieurs niveaux imbriqués (Nesting).....	59
6. Retour aux foggaras et transformation de l'agriculture saharienne, des réponses aux mutations récentes	59
7. Discussion et conclusion.....	66
Chapitre II : Monument historique ou système bien vivant ? Les <i>foggaras</i> des oasis du Touat et leur réalimentation en eau par pompage.....	69
1. Introduction.....	70
2. Méthodes.....	72
3. Résultats.....	74
3.1. Périmètres de mise en valeur agricole et réhabilitation des foggaras : des objectifs difficilement conciliables	74
3.2. D'une cause de déclin à une solution adoptée : réclamer le forage pour renforcer les foggaras	76
3.3. Des foggaras « hybrides » : intégration du forage, ajustements et continuités dans un nouveau système sociotechnique oasien.....	76
4. Discussion et conclusion.....	81
Chapitre III :	84
L'agriculture saharienne à Adrar entre planification et réalité du terrain : un nouveau modèle agricole ou le renouveau de l'agriculture paysanne ?	84
1. Introduction	85
2. De la planification à la réalisation : l'État généreux, moteur de la mise en valeur agricole	90
3. Pratiques et stratégies des agriculteurs : trois modèles émergents.....	99
3.1. La grande mise en valeur : une agriculture rentière ou le modèle gâté de l'État	100
3.2. L'agriculture entrepreneuriale	102
3.2.1. Les agriculteurs oasiens entre ambitions de durabilité et besoin de rentabilité	102
3.2.2. Les agriculteurs venus du nord du pays, une agriculture transitoire	105
3.3. L'agriculture paysanne ou la nouvelle agriculture oasienne : une réponse aux contraintes de l'agriculture saharienne	110
4. Ouled Aissa : les oasiens sur les périmètres de la petite mise en valeur, intégration des logiques oasiennes ou retour aux anciennes oasis.....	113
4.1. Des ressources en eaux limitées	114

Sommaire

4.2.	L'installation de puits motorisés entre la mise en place de nouvelles parcelles et la ré-exploitation des parcelles abandonnées	118
4.3.	Le dur labeur dans les périmètres de mise en valeur	119
4.4.	Les puits partagés, la réapparition de la foggara	120
4.5.	Un retour vers les parcelles du secteur traditionnel	121
5.	Discussion et conclusion	125
Chapitre IV :		130
Le Système Multi-Agents (SMA) « AISSA », un modèle à base d'agents intégrateur, multithématiques et multi-échelles du système oasien à foggara		130
1.	Introduction	131
2.	Système Multi-agents (SMA) et Modélisation à Base d'Agents (MBA) ?.....	135
2.1.	Niveaux de représentations (échelles), dimension spatiale et flexibilité d'un SMA 137	
2.2.	Les systèmes multi-agents comme outil pour l'étude des systèmes socio-écologiques 139	
3.	Le modèle Aissa : structure, théories de base et principe de fonctionnement	140
3.1.	Matériel et méthodes spécifiques mobilisés	141
3.1.1.	La littérature scientifique	141
3.1.2.	Le prototype du modèle de la nappe d'eau souterraine	142
3.1.3.	Le méta-modèle MAIA	145
3.1.4.	Les enquêtes du terrain	147
3.2.	Question posée au modèle :	148
3.3.	Les entités du modèle AISSA	148
3.4.	Les niveaux d'échelles spatiales considérées	150
3.5.	Les entités spatiales	150
3.5.1.	La cellule	150
3.5.2.	Le secteur	151
3.5.3.	La parcelle	153
3.5.4.	Le système de captage	155
3.5.5.	La nappe d'eau souterraine	158
3.6.	Les entités sociales	159
3.6.1.	Le propriétaire	159
3.6.2.	La grande famille	159
3.7.	Les échelles temporelles et les processus	160

Sommaire

3.7.1.	L'échelle hydrologique	160
3.7.2.	Le prélèvement d'eau par la foggara	161
3.7.3.	Le pompage d'eau par le forage	163
3.7.4.	L'échelle mensuelle	164
3.7.5.	L'échelle annuelle	164
3.7.6.	Mise à jour de l'état d'entretien de la foggara	167
3.7.7.	L'évolution des familles et le morcellement des parcelles agricoles	168
3.7.8.	L'introduction du secteur moderne	169
3.8.	L'état initial et paramétrisation du Modèle	170
3.9.	Concepts, hypothèses et théories de base	172
3.9.1.	La prise de décision	172
3.9.2.	Les décisions collectives	172
3.9.3.	L'hétérogénéité	172
3.9.4.	La stochasticité	173
3.9.5.	L'observation	173
4.	Conclusion	173
Chapitre V		175
Le Modèle Multi-agents « AISSA » comme outil de réflexion et de discussion pluridisciplinaire sur le système oasien à foggara.....		175
1.	Introduction	176
2.	Exemple de type d'histoire pouvant être racontée avec le modèle AISSA par la présentation commentée d'une simulation	176
2.1.	L'observation des fenêtres de visualisation	176
2.2.	L'observation des paramètres enregistrés	181
3.	AISSA, un outil de discussion avec les scientifiques, les techniciens du terrain et les oasiens :	183
3.1.	La discussion avec les scientifiques	183
3.2.	La discussion avec les techniciens du terrain	185
3.3.	La discussion avec les oasiens	186
4.	Le plan d'expériences	188
5.	Quelques résultats de simulation	189
5.1.	Effets sur les volumes d'eau exploités	190
5.2.	Effet du périmètre de mise en valeur	190
5.3.	Effet de l'accès à l'emploi	191

Sommaire

5.4. Effet des conditions hydrogéologiques	192
5.5. Effets sur les volumes d'eau consommés et les superficies agricoles	193
5.6. Effets sur l'installation des forages et sur la satisfaction en eau d'irrigation	194
5.7. Effets sur les deux secteurs, traditionnel et périmètre de mise en valeur	196
.6 Conclusion	198
Discussion et conclusion générale.....	200
1. Introduction.....	201
2. Avenir des foggaras : ajustements techniques et adaptations institutionnelles.....	202
3. Avenir de l'agriculture saharienne : résilience économique, durabilité environnementale ou nécessité sociale ?.....	204
3.1. L'agriculture saharienne : une question du modèle.....	206
4. Perspectives de recherche	208
Bibliographie	210
Articles scientifiques	210
Liste des tableaux	222
Liste des figures	223
Liste des photos	225
ANNEXES	226
Annexe 1 : Liste exhaustive des tableaux élaborés à la base du méta-modèle MAIA	226
1-1 Les agents	226
1-2 L'environnement physique	227
1-3 Les rôles	228
1-4 Les institutions	229
1-5 détails des institutions	230
Annexe 2 : Questionnaire et guides d'enquête	234
2-1 Questionnaire général sur les oasis de Touat, Gourara et Tidikelt	234
2-2 Le guide d'entretien sur la foggara	239
2-3 Le guide d'entretien sur l'exploitation (jardin)	240
Annexe 3 : Quelques coupes lithologiques dans des forages	242
3-1 forage à Tamentit	242
3-2 : forage à Reggane	243
3-3 : forage à Adrar	244
4. Liste des sigles utilisés	245

Introduction générale

Le maintien dans le temps des oasis du Touat, Gourara et Tidikelt depuis plusieurs siècles et les fortes mutations observées depuis les années 1970 ont fait l'objet de nombreuses études et recherches portées par des chercheurs de disciplines différentes. Notre problématique dans cette thèse porte sur la situation de l'espace oasien et les d'adaptation des paysans au regard des transformations socioéconomiques et environnementales récentes. Nos questions de recherche portent sur : 1)- l'importance des institutions de gestion de la foggara et du savoir-faire des paysans dans le maintien de l'agriculture oasienne ; 2)- les ruptures et les continuités entre l'ancien système oasien et les périmètres de mise en valeur ; 3)- l'approche avec laquelle nous pouvons démontrer et analyser les interactions entre les différentes composantes du système oasien à foggara. Pour répondre à ces questions, nous mobilisons le cadre d'analyse d'Ostrom pour démontrer la force des institutions de gestion des foggaras. De plus, nous analysons la situation des exploitations agricoles dans les périmètres de mise en valeur pour soulever les ruptures et les continuités entre les l'ancienne et les nouvelles formes d'agriculture saharienne. Enfin, nous utilisons les résultats de ces analyses pour construire un Modèle à base d'agents (MBA) qui sert comme un support de discussion avec les différents groupes d'acteurs.

1. Introduction :

Les oasis représentent un exemple essentiel de la capacité de l'homme à vivre dans les conditions les plus extrêmes de l'œkoumène. Cette capacité se traduit par l'aménagement des espaces hostiles pour réunir les conditions nécessaires à la vie, et cela à travers la mise en place des dispositifs techniques et organisationnels susceptibles de surmonter les contraintes liées à l'aridité. Ainsi, la définition d'une oasis gagne son intérêt à travers une illustration, parfois mythique (Bisson, 2003) et paradoxale, qui réunit la présence de l'humide (l'eau) et du vert (l'agriculture) dans le sec (le désert). Selon Battesti (2005) « *On ne connaît toujours pas l'origine exacte des oasis sahariennes. Ce qui est certain, c'est que la transformation de certaines terres arides en zones de cultures ou leur maintien a demandé l'investissement de réelles organisations, parfois appelées « sociétés hydrauliques »* ». Le cas des oasis du Touat, Gourara et Tidikelt, dans le Sahara algérien, reste l'un des exemples les plus emblématique, car le paradoxe ici est double : l'intérêt de ces oasis ne se limite pas à cette présence humaine dans l'un des endroits les plus extrêmes du monde, mais aussi par sa durabilité historique et l'énorme travail réalisé au cours des siècles pour amener de l'eau souterraines en surface de manière gravitaire à travers le système de captage nommé « *foggara* ».

Au cours du XX^{ème} siècle, le Sahara algérien avait vécu de multiples politiques de désenclavement, de développement et d'intégration au territoire national, suite à une longue période de déclin depuis la chute du commerce transsaharien à partir du 16^{ème} siècle (Bisson, 2003; Côte, 2002; Otmane, 2010). Les stratégies de développement ont été accompagnées par la réouverture des oasis sur le monde extérieur qui offre de nouvelles opportunités de travail et des modes de vie moins dépendants de l'activité agricole. Les premières transformations dans cet espace ont été soulignées durant la période coloniale au début du siècle précédent, mais les plus profondes sont celles marquées au cours des cinq dernières décennies après l'application de multitudes réformes agraires et des programmes de développement dans des secteurs divers.

Dans le Touat, le Gourara et le Tidikelt, qui font parties de la wilaya d'Adrar, les premières mutations dans le système sont issues de la rupture du commerce caravanier transsaharien vers les pays de sud, puis l'arrivée du colonisateur français. Une rupture qui a limité l'accès des propriétaires des terres et des foggaras à la main d'œuvre servile ancestrale apportée de ces pays (Martin, 1908). En conséquence, le travail de la terre s'orientait de plus en plus vers des modes de faire-valoir indirect (Marouf, 2017). Après une première réforme agraire au

début des années 1970¹, une nouvelle loi a été promulguée en 1983 pour permettre l'Accession à la Propriété Foncière Agricole (APFA) et dont les différentes catégories sociales des oasiens ont bénéficié. De nombreux périmètres de mise en valeur agricole ont été créés dans les trois parties de la zone d'étude : le Touat, le Gourara et le Tidikelt. Dans ces nouveaux périmètres, l'irrigation se fait avec de l'eau pompée des nappes souterraines. À partir de l'an 2000, le Programme National de Développement Agricole (PNDA) a financé l'équipement des terrains distribués dans le cadre de l'APFA. En parallèle, des interventions remarquables ont eu lieu dans les autres secteurs d'activité : l'administration, le commerce, l'industrie, les travaux publics et l'éducation en particulier. Ces interventions de l'État avaient des retombées sociales, économiques et environnementales sur l'espace oasien à Adrar (Bellal *et al.*, 2016) et ont conduit à ce qui a été qualifié de « *basculément* » de la société oasienne : l'eau n'est plus en première position, c'est l'accès à la terre qui est en premier (Otmane, 2010). La catégorie sociale des métayers, défavorisée dans l'ancien système, a pu accéder à la terre dans les nouveaux périmètres. Les contrats de travail indirects deviennent moins privilégiés face à l'émergence du travail salarial dans les nouveaux périmètres de mise en valeur et dans d'autres secteurs d'activité comme les travaux publics, le commerce et l'administration (Marouf, 2017). C'est dans ces conditions que l'agriculture oasienne s'est trouvée en « *recul* » par rapport à une agriculture saharienne considérée plus prometteuse (Hadeid *et al.*, 2018).

2. Problématique et objectifs de recherche :

Face aux transformations sociales, économiques et environnementales remarquées durant les cinq dernières décennies, la question de durabilité de l'agriculture oasienne et sa place au regard d'une agriculture saharienne « *moderne* » attire de plus en plus l'intérêt des scientifiques (Bellal *et al.*, 2016; Bendjelid, 2011; Bendjelid *et al.*, 1999; Bisson, 2003; Côte, 2002; Dubost, 1986, 1991; Dubost & Moguedet, 1998; Hadeid *et al.*, 2018; Hamamouche *et al.*, 2018; Otmane & Kouzmine, 2013). Les discours portent généralement sur la problématique de durabilité de l'agriculture oasienne, souvent qualifiée de '*traditionnelle*', face à ces transformations massives. Le raisonnement qu'a suscité l'émergence d'un tel discours fait référence aux grandes disparités dans les moyens et les techniques utilisés dans les deux types d'agricultures, dans l'exploitation de l'eau souterraine en particulier, voire dans le mode d'exploitation (agriculture paysanne versus agriculture dite entrepreneuriale) même.

¹ Appelée aussi la révolution agraire

L'agriculture saharienne '*moderne*' a été souvent considérée comme une agriculture construite *ex-nihilo* (Bensâad, 2011 ; Hamamouche *et al.*, 2018) et une alternative à l'agriculture du nord pour atteindre l'objectif de la sécurité alimentaire en Algérie. Cela est justifié par les grandes potentialités en eau et en sol dans le Sahara. D'énormes moyens techniques et financiers ont été mis en place afin de conquérir des milliers d'hectares programmés depuis le début des années 1983. Ainsi, de nouvelles terres ont été attribuées aux agriculteurs oasiens et d'autres agriculteurs venus du nord du pays. Les nouveaux périmètres de mise en valeur ont bénéficié des opérations d'aménagement basés sur les grands travaux. En parallèle, les attributaires de ces nouvelles terres ont reçu des subventions de l'État pour l'équipement des nouvelles exploitations agricoles. Néanmoins, et après plus de trois décennies, les résultats restent mitigés et ne répondent pas aux ambitions de ces programmes (Otmane & Kouzmine, 2013; Sahli, 1997). Les superficies réellement exploitées sont de moins de 19 % par rapport à celles qui ont été aménagées (Otmane, 2010) et sont destinées aux deux types d'exploitation, la grande et la petite mise en valeur (*cf.* chapitre III). Ces résultats modestes de l'agriculture saharienne '*moderne*' ont été suivis, paradoxalement, par le lancement de nouveaux programmes qui donnent plus d'opportunités de financement et de subvention pour aménager de nouvelles terres au lieu de résoudre les problèmes de mise en valeur des périmètres existants, ce qui signifie la continuité des aménageurs à penser à la possibilité de surmonter les contraintes de l'aridité uniquement par le biais des moyens techniques et financiers.

D'un autre côté, l'agriculture oasienne a été largement négligée, et caractérisée comme une agriculture '*traditionnelle*' et comme un '*patrimoine*', traduisant ainsi sa soi-disant incapacité à rejoindre les progrès actuels et répondre aux besoins des populations. De plus, l'agriculture oasienne a été considérée comme une forme d'iniquité sociale, et donc un mode d'agriculture qui ne devrait pas être présent dans une Algérie moderne et indépendante. Par conséquent, cette agriculture a été largement marginalisée en faveur des nouveaux périmètres de mise en valeur, et très peu de programmes ont donné l'opportunité de financement des travaux d'aménagement et de renouvellement des parcelles agricoles dans les anciennes oasis.

En ce qui concerne les foggaras qui sont à l'origine de la durabilité séculaire des oasis de Touat, Gourara et Tidikelt, elles se trouvent en concurrence avec les nouvelles techniques de pompage plus performantes et moins exigeantes en force de travail. Par un regard centré sur son dispositif hydraulique et l'organisation sociale qui l'accompagne, les discours dominants relayaient des doutes sur la capacité de la foggara à affranchir les transformations sociales,

économiques et environnementales profondes que subissait l'espace oasien saharien en général et celui du Touat, Gourara et Tidikelt en particulier (Papy, 1959). Par un regard patrimonial, la foggara est vue comme un système figé dans le temps qu'il s'agit de réhabiliter. Son importance était mise en avant seulement par son ingéniosité technique qui doit être maintenue. Un certain nombre d'interventions ont été consacrées à la réhabilitation des puits, des galeries et des canaux d'irrigation, en négligeant les autres aspects liés à l'organisation, au savoir-faire et aux institutions de gestion. Dans cette thèse, nous définissons le système de foggara comme l'ensemble du dispositif technique hydraulique de captage (galeries et puits) et de distribution (*Kasria* – peigne, et *seguias* - canaux), ainsi que les organisations (*djemâa*, *zawiyas*, ...) et les institutions (règles de gestion) mises en place pour distribuer l'eau et assurer la maintenance de l'infrastructure hydraulique.

Ainsi, la question centrale de cette thèse est la suivante :

Si les transformations décrites plus haut semblent inévitables compte tenu des facteurs souvent exogènes aux oasiens :

Comment les paysanneries adaptent le système oasien à foggara dans le Touat, le Gourara et le Tidikelt au regard des transformations sociales, économiques et environnementales ?

Trois questions spécifiques viendront par la suite pour mettre en avant les principaux points à développer dans cette recherche :

1- La foggara est souvent décrite comme composante principale dans le fonctionnement et la durabilité séculaire des oasis. Pour son maintien, les oasiens ont mis en place des organisations communautaires et ont façonné des institutions de gestion qui sont encore fonctionnelles. Comment pouvons-nous montrer l'importance de ces institutions et les rendre visibles ?

2- L'agriculture oasienne se trouve aujourd'hui à côté d'une agriculture saharienne « moderne » prioritaire dans les programmes de l'État et sensée à être basée sur des techniques d'irrigation et d'exploitation agricole plus performantes. Cette nouvelle agriculture est-elle en rupture avec l'agriculture oasienne ou garde-t-elle encore des continuités ?

3- L'analyse et l'explication des interactions entre les différentes composantes du système oasien à foggara nécessitent la mise en place d'un outil qui permet d'intégrer ces

différentes composantes. Comment pouvons-nous montrer ces interactions et les mettre en débat ?

Les premières explorations de cette thèse ont montré un certain maintien des foggaras et de l'agriculture dans l'ancien secteur. Pour comprendre ce maintien face aux transformations importantes des dernières décennies, nous émettons l'hypothèse que le fonctionnement actuel des foggaras garde des continuités et des traces importantes héritées de l'ancien système. Nous explorons ici une hypothèse formulée par Bisson (1992) qui postulait que la combinaison de la technique *foggarienne* traditionnelle avec des moyens d'exhaure modernes pouvait donner un nouvel élan aux foggaras. Nous supposons également que le nouveau système est une adaptation des communautés aux transformations dans la zone par des ajustements et le maintien de l'action collective, caractéristique principale de l'ancien système, et non pas un nouveau système coupé des expériences accumulées durant des siècles.

Côte (2002) estime que la réussite de l'agriculture saharienne demande la disponibilité de l'eau et d'une solide paysannerie : « *C'est l'Est du Sahara algérien, et le Sud tunisien, c'est-à-dire le Bas Sahara, qui réunissent le mieux les atouts concernés, cela n'est peut-être pas sans lien avec le fait que c'est là que l'on rencontre les dynamiques agricoles les plus grandes (Ziban, Nefzaoua)* ». Néanmoins, il suppose que l'installation des nouveaux périmètres de mise en valeur loin des anciennes oasis fragilise l'implication des paysanneries dans le projet agricole proposé et diminue leurs chances de réussite. Ainsi, « *il a alors fallu prendre en charge les problèmes d'habitat par la création de villages ..., Mais les fellahs sahariens répugnent à s'éloigner trop de leur terroir d'origine* » (*ibid*). Dans ce chapitre, nous considérons que cette hypothèse, qui semble simple au premier abord, est beaucoup plus complexe, puisque il y a de nombreuses conditions à remplir pour avoir une solide paysannerie.

Pour les résultats modestes des programmes de l'agriculture saharienne et les interactions entre les deux secteurs, Dubost, (1989) suppose que : « *la stratégie de développement doit rencontrer celles des agriculteurs* », il précise que : « *... leur implantation doit obéir à des motivations agro-économiques certes, mais aussi stratégiques et sociologiques. Ce qu'on doit exiger de ces projets c'est de reconstruire l'oasis, couple inséparable du territoire agricole et du village, avec son organisation sociale et sa finalité économique* ». Ainsi, nous émettons l'hypothèse que les résultats mitigés de la politique de développement de l'agriculture saharienne à Adrar peuvent être expliqués à la lumière de leur accomplissement aux finalités sociales et économiques proposées par Dubost (*ibid*). Néanmoins, nous supposons que cette

logique de combiner le social et l'économique est bien présente dans les nouvelles stratégies des oasisiens.

Les différents débats scientifiques et même politiques portent souvent sur l'analyse des aspects sociaux (organisation de la société ou des familles et leur stratégie), économiques (rentabilité des exploitations, programmes de développement, opportunités de travail dans d'autres secteurs, richesse, ...) et environnementaux (climat, hydrogéologie, topographie, ensablement, ...). Nous émettons l'hypothèse que l'analyse de ces facteurs pris séparément ne peut être suffisante pour expliquer les dynamiques actuelles dans le système oasien à foggara sans intégrer le rôle transversal des institutions de gestion. Nous supposons également que c'est à la lumière de ces dernières que nous pouvons justifier la durabilité séculaire des foggaras et, par conséquent, de l'agriculture oasienne. Ainsi, les oasisiens ont développé des capacités d'adaptation sociales, institutionnelles et individuelles qui leur permettent d'opérer les ajustements nécessaires pour affranchir les contraintes d'origines différentes.

Les objectifs du travail sont les suivants :

L'objectif principal de cette thèse est de contribuer à l'analyse des dynamiques du système oasien à foggara dans le Touat, Gourara et Tidikelt. Ce travail ambitionne d'apporter un nouveau regard au système de foggara à travers la redéfinition du système et la relecture de ses interactions avec les nouveaux périmètres de mise en valeur. L'objectif est aussi d'éclairer de nouveaux aspects intéressants pour comprendre le fonctionnement séculaire des foggaras et proposer d'autres pistes pour accompagner le renouveau de l'agriculture oasienne. Cette recherche vise en particulier à :

1- Étudier les nouvelles formes d'adaptations et les stratégies qui marquent la gestion des foggaras et des anciennes palmeraies, et mettre en avant les différentes articulations entre les anciennes et les nouvelles pratiques de gestion et d'exploitation.

2- Analyser les dynamiques actuelles du système oasien dans le Touat, Gourara et Tidikelt à la lumière des transformations récentes. Il s'agit de montrer la situation de l'agriculture oasienne dite *traditionnelle* par rapport à la nouvelle agriculture saharienne dite *moderne* et soulever les principaux handicaps qui peuvent expliquer les résultats modestes de différents programmes entamés dans la zone.

3- Analyser les dynamiques et les interactions entre la ressource en eau souterraine, les techniques et les modes d'exploitation et les institutions et les organisations mises en place pour la gestion du système. Il s'agit surtout de rendre explicite les articulations

entre les différentes composantes du système afin d'expliquer son évolution et cela à travers le développement d'un cadre d'analyse transdisciplinaire des adaptations du système oasien dans cette région.

3. Contexte naturel du Touat, Gourara et Tidikelt :

Le Touat, Gourara et Tidikelt font partie de la wilaya d'Adrar située dans le sud-ouest de l'Algérie. La ville d'Adrar, chef-lieu de la wilaya, se situe sur la route nationale n° 6 à 1 400 km de la capitale Alger. La wilaya d'Adrar s'étend sur plus de 420 000 km², elle est limitée au nord par la wilaya d'El Bayadh, au sud par les pays du Mali, le Niger et la Mauritanie, à l'est par les wilayas de Ghardaïa et Tamanrasset et à l'ouest par les wilayas de Béchar et Tindouf (figure 1). Administrativement, elle est découpée en 11 daïras et 28 communes dont 26 communes couvrent notre zone d'étude et deux communes appartiennent à la zone de Tanezrouft² située au sud de la wilaya. La population d'Adrar était de 475298 en 2015 (DPAT-Adrar³) et répartie sur 294 ksour (villages-oasis).

Le Touat se situe dans le centre de la wilaya d'Adrar. La ville d'Adrar, chef-lieu de la wilaya, est sa principale agglomération dans laquelle des activités de commerce et d'administration ont été développées. Cette partie de la zone d'étude se situe sur les contrebas du plateau de Tademaït et représente le nombre le plus important des oasis et des foggaras (1212 foggaras dont 311 foggaras pérennes sur 2000 foggaras en total en 2016). Sur le plan hydrogéologique, le Touat se situe sur les limites septentrionales de la nappe du Continental Intercalaire (CI). Cette nappe représente de grandes potentialités et permet l'irrigation gravitaire par les foggaras depuis plusieurs siècles. Ces potentialités ont incité l'État à la mise en place de plusieurs périmètres de mise en valeur irrigués par des forages ayant des débits importants (parfois de plus de 50 l/s). Aujourd'hui, le Touat connaît une double dynamique dans les périmètres de mise en valeur et dans les oasis irriguées par les foggaras.

Le Gourara se situe au nord de la zone d'étude. En termes de démographie et de superficie, il vient en deuxième position après le Touat et sa plus grande ville est celle de Timimoune. Le Gourara représente une diversité physique qui est derrière la diversité des oasis et des modes d'exploitation de la ressource en eau souterraine. En plus de la nappe du CI qui alimente les oasis située à l'est du Gourara, la partie ouest est alimentée principalement d'une autre nappe

² Tanezrouft est zone connue par le pâturage, camelin en particulier. Elle ne représente pas les mêmes capacités en matière des ressources en eau souterraines ni en paysanneries. Elle est beaucoup moins visée par les programmes de développement agricole (agriculture saharienne)

³ Direction de la Planification et d'Aménagement du Territoire

mois importante qui est celle de l'erg. Sur le plan physique, les oasis du l'ouest du Gourara se situent sur les lisières sud du grand erg occidental. Dans certaines de ces oasis, les paysans exploitent directement la nappe peu profonde de l'erg par la mise en place des cultures en sec (sans irrigation). Les dimensions des périmètres de mise en valeur dans le Gourara sont moins importantes et utilisent l'eau souterraine par des puits ayant des débits moins intéressants que dans le Touat (souvent quelques litres par seconde, sauf pour la zone d'Aougrouit au sud).

Le Tidikelt se situe au sud de Touat. Il est partagé entre les deux wilayas d'Adrar et Tamanrasset. Dans cette thèse, nous nous intéressons uniquement à la partie de la wilaya d'Adrar. Sur le plan démographique, le Tidikelt est moins important par rapport aux deux autres parties de la zone, Touat et Gourara. D'un point de vue hydrogéologique, cette partie est alimentée de la même nappe du CI. Le Tidikelt se distingue des autres parties de la zone d'étude par les relations qui relient sa population avec les pays de sud. Beaucoup de commerçants du Tidikelt sont basés dans des pays comme le Mali et le Niger.

En contrebas des oasis de la zone, elle s'étend une grande dépression salée (*sebkha*). Cette dernière reçoit les eaux des oueds arrivées de l'ouest, comme oued N'amous et Oued Messaoud, de certains oueds drainants les parties culminantes à l'est et les eaux de drainage issues de l'irrigation dans les oasis situées tout au long des bordures du plateau de Tademaït.

De point de vue hydrogéologique, le plateau de Tademaït représente les limites superficielles d'une grande nappe d'eau souterraine connue par la nappe du Continental Intercalaire (CI) qui s'étend sur environ 1 000 000 km² (Oss, 2003a; Ould Baba Sy, 2005). C'est une nappe partagée entre l'Algérie, la Lybie et la Tunisie (figure 2). Les eaux de la nappe sont des eaux fossiles et très peu renouvelables (Gonçalvès *et al.*, 2013; Ould Baba Sy, 2005; Unesco, 1972). Les oasis d'Adrar se situent sur les limites Est du CI et sont irriguées par les foggaras qui captent l'eau du toit de la nappe par gravité. Sur l'ensemble de la zone, en 2016 les 672 foggaras pérennes de la zone captaient environ 1.8 m³/s (ANRH, 2016).

La présence de cette énorme nappe dans une zone aride fait d'elle une ressource très convoitée. Cela est accentué par la nature hyperaride du climat caractérisé par des températures très élevées sur une longue période de l'année et des précipitations très rares. Ainsi, l'activité agricole doit son existence à la pratique de l'irrigation sur toutes les saisons de l'année.

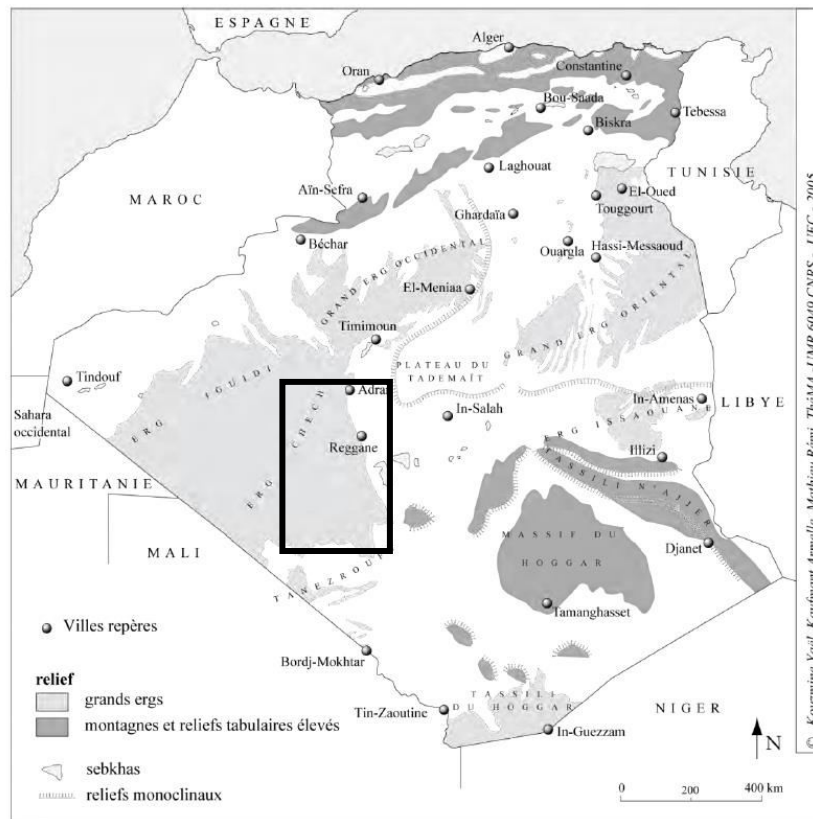


Figure 1 : cadres géographique et physique du Touat, Gourara et Tidikelt (Kouzmine, 2007)

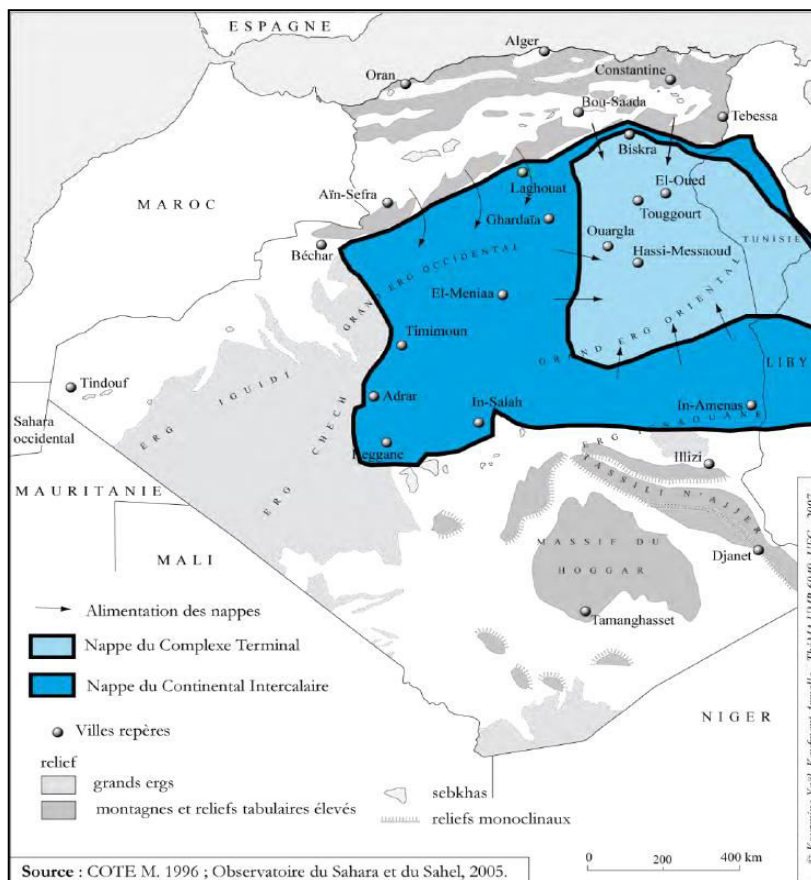


Figure 2 : les nappes du Continental Intercalaire (CI) et du Complexe Terminal (CT) dans le Sahara algérien (Kouzmine, 2007).

4- Méthodologie de recherche :

Pour analyser les dynamiques actuelles du système oasien à foggara face aux transformations récentes, cette recherche s'inspire d'un cadre d'analyse multiscalaire et pluridisciplinaire qui permet d'intégrer les différents aspects intervenants dans le fonctionnement du système. Toutefois, cette pluridisciplinarité ne vise pas l'étude détaillée de chacun des facteurs sociaux, économiques et environnementaux. Il s'agit de commencer de l'existant dans certaines études déjà faites dans des disciplines différentes s'intéressant aux aspects physiques/matériels du système (la ressource, le dispositif hydraulique, l'économie, ...) et les articuler avec d'autres aspects immatériels du système (organisation sociale, institutions, savoir-faire, ...). Le cadre d'analyse développé dans cette recherche prend comme point de départ le triptyque classique du système oasien : « ksar-foggara-palmeraie ». À cela, nous avons ajouté des analyses sur les institutions de gestion, les stratégies et les pratiques des paysans dans ce système.

Deux cas d'étude ont fait l'objet d'une analyse approfondie afin de d'atteindre les objectifs de la thèse. Après une analyse chronologique des transformations à l'échelle de chaque oasis, nous passons à l'étude des transformations au niveau des groupes de propriétaires des foggaras. À ce niveau, nous regardons les adaptations et les stratégies qui ont eu lieu pour le maintien du fonctionnement des foggaras et/ou l'exploitation des parcelles dans les anciennes palmeraies. Dans ce cadre, nous regardons les changements et les articulations entre les deux aspects matériel (eau, parcelle, habitat) et immatériel (organisation sociale, institutions, savoir-faire, ...) (figure 3).

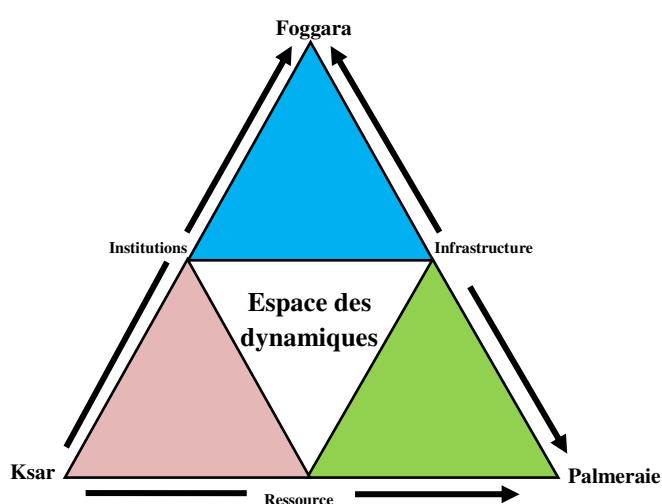


Figure 3 : articulation des aspects matériels et immatériels dans le système oasien à foggara

Les sources de données utilisées dans cette recherche sont de deux natures différentes : les données secondaires des différents services administratifs et les données des enquêtes du terrain. Pour la première, le but est de construire une vision générale sur la situation du système oasien sur l'ensemble de la zone d'étude. Ainsi, nous avons commencé par traiter les données sur l'ensemble de la wilaya d'Adrar. Cela permet de démontrer l'importance des interventions menées sur cet espace et les retombées sociales, économiques et environnementales. En ce qui concerne la deuxième source, il s'agit de descendre à une échelle suffisamment fine afin de décrypter les dynamiques, les pratiques et les stratégies dans les groupes des propriétaires des foggaras et dans les exploitations agricoles dans les deux types d'agriculture, *traditionnelle* et *moderne* :

a- Par des entretiens semi-directifs réalisés avec 18 interviewés avec des représentants des associations des foggaras, leaders des groupes et des experts locaux reconnus pour leurs expériences dans les travaux d'entretien et dans le partage des eaux des foggaras. Les interviewés sont issus de 18 oasis situées dans les 3 parties de la zone d'étude. Nous avons organisé aussi 4 réunions collectives avec les représentants de 4 foggaras réparties sur les 3 parties de la zone. La première réunion à Timimoun au Gourara en collaboration avec l'Observatoire de la Foggara, qui est un organisme créé en 2011 sous la tutelle de ministère des ressources en eau et chargé de l'étude des foggaras dans la zone. La deuxième et la troisième réunion dans le Touat, respectivement dans les oasis de Brinkene et Tasmaout et la quatrième réunion dans le Tidikelt dans l'oasis d'Aoulef. Ces réunions ont permis de débattre les règles et les normes en relation avec les foggaras et leurs situations en relation avec les transformations socioéconomiques et biophysiques dans la zone. Nous avons réalisé d'autres interviews avec les techniciens des services administratifs à Adrar qui sont en relations avec l'étude et la réhabilitation des foggaras notamment la Direction des Services Agricoles (DSA), la Direction des Ressources en Eau (DRE), l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) et la Conservation des Forêts. Les débats concernent leurs points de vue, leurs visions du futur et le déroulement et l'évaluation des opérations qu'ils financent et encadrent sur terrain. Ces services nous ont fourni aussi des statistiques en relation avec leurs interventions.

b- Depuis 2010 nous avons réalisé plusieurs missions sur terrain qui ont permis de construire un bon savoir sur le fonctionnement du système oasien, les dynamiques actuelles et les modes d'adaptations des autochtones aux transformations socio-économiques et environnementales, dans le niveau de la nappe en particulier. Durant la période de juillet-

septembre 2016, nous avons interviewé les propriétaires dans 18 foggaras réparties sur 15 oasis dans les 3 parties de la zones à travers des questionnaires (figure 4) : les oasis de Brniken, Ghram Ali, Ouled Brahim, Tasfaout, Lahmeur, Ghramiannou et Zaouit Kounta dans le Touat, les oasis d'Ouled Aissa, Aoumeh, Ouled Said, Beni Aissi, Timimoune et Elouajda dans le Gourara et les oasis de Kasbat Maikhaf et Kasbat Hainoune dans le Tidikelt. Le choix des interviewés était basé sur les critères spatiaux (répartition sur les 3 parties de la zone qui ont chacune leurs spécificités, diversité physique et situation par rapport aux centre urbains), les périmètres de mise en valeur agricole (présence ou pas, petite ou grande mise en valeur) et l'état des foggaras (pérennes ou taries).

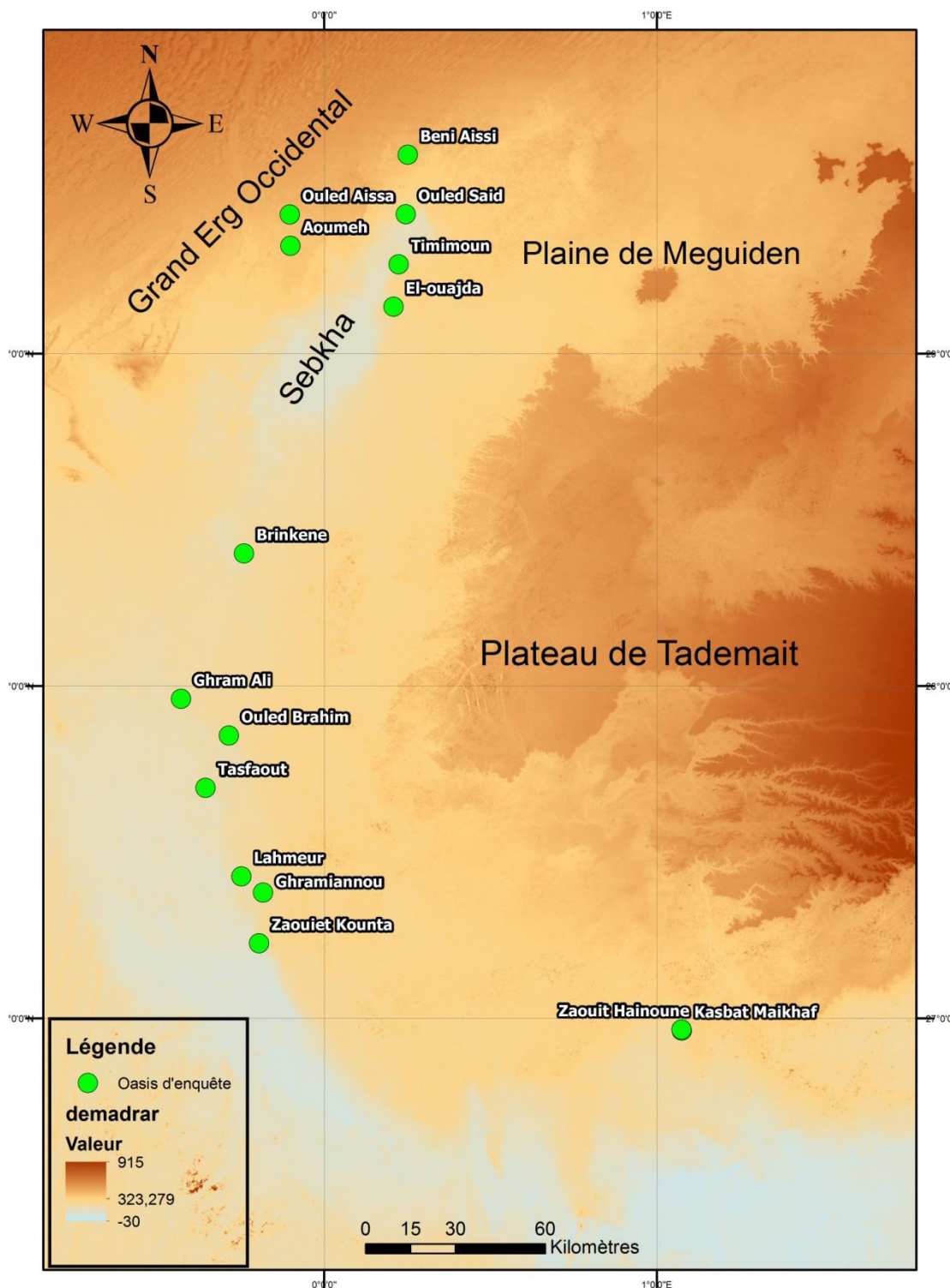


Figure 4 : Situation des oasis de l'enquête du terrain.

(ASTER GDEM est le produit de METI et la NASA)

c- Afin de répondre au premier objectif de la thèse et démontrer les nouvelles formes d'adaptations et les stratégies qui marquent la gestion des foggaras et des anciennes palmeraies, nous avons choisi l'oasis de Lahmeur dans le Touat. Dans cette oasis, nous démontrons comment l'introduction d'un nouveau dispositif hydraulique de captage entraîne

la recomposition sociale et la redéfinition des règles de gestion du système. Les oasisiens de Lahmeur ont opéré des ajustements sur le dispositif hydraulique et sur les institutions et l'organisation sociale suite à l'arrivée d'un forage de renforcement des foggaras. L'oasis de Lahmeur a été l'une des premières à avoir pu installer un forage pour alimenter le système de foggaras, au moment même où le programme de « renforcement des foggaras » par des forages rencontrait un refus généralisé dans les autres oasis. C'est aussi le plus ancien forage de renforcement que l'on ait trouvé encore en fonctionnement, 25 ans après son installation. Le choix de ce cas d'étude se justifie par les dynamiques profondes qui ont touché à l'organisation sociale, aux institutions de gestion et à l'infrastructure de captage de la foggara. Ainsi, son étude permet de montrer la capacité d'adaptation de ces paysanneries qui ont opéré des ajustements dans les différentes composantes du système afin de maintenir son fonctionnement. Nous avons commencé par interviewer trois personnes ressources, le président de l'association des foggaras, son adjoint et un retraité, ancien délégué de la Direction des services agricoles de la commune de Tammest au moment de l'installation du forage. Au cours de l'enquête, nous avons visité 47 parcelles représentant environ 40 ha des 200 ha alimentés par les cinq foggaras de l'oasis. Nous avons relevé des données sur l'organisation spatiale, l'infrastructure hydraulique et l'organisation sociale et institutionnelle du nouveau système de captage et de distribution de l'eau. Nous avons analysé les documents écrits de l'association des foggaras : listes des propriétaires dans chaque foggara, documents de création de l'association, règlement intérieur de gestion. Les résultats ont été confrontés aux données recueillies par des entretiens semi-directifs auprès de 15 ayants droit à l'eau du forage. Ces derniers ont été choisis en concertation avec les trois personnes ressources pour couvrir les différents cas d'accès à l'eau : neuf anciens propriétaires (dont quatre descendants des anciens *khammès* – métayers au cinquième) et six nouveaux propriétaires ayant eu des droits d'eau après la mise en place du forage. Nous avons rencontré des difficultés pour identifier les différentes catégories sociales aujourd'hui actives dans l'oasis et disposant de droits d'eau, du fait des reconfigurations sociales et des susceptibilités que l'ancienne appartenance servile continue à poser dans le contexte oasisien. Ce déficit d'information a été complété par l'analyse des documents déjà cités et des discussions avec certaines personnes ressources dans les oasis avoisinantes.

d- Le deuxième cas d'étude a un double objectif : d'un côté, analyser les dynamiques entre les deux types d'agriculture dans les anciennes oasis et les nouveaux périmètres de mise en valeur et relever les ruptures et les continuités entre les deux en regardant la ressource en eau - l'infrastructure de captage – les règles de gestion et, d'autre côté, utiliser les résultats

obtenus de cette analyse pour la construction d'un outil qui permet de comprendre les interactions entre les différentes composantes du système oasien à foggara. Le choix de l'oasis d'Ouled Aïssa dans le Gourara se justifie par la dynamique observée entre les parcelles des deux secteurs : les parcelles irriguées par les foggaras et celles du périmètre de mise en valeur. Ce cas d'étude permet de répondre, en partie, à l'objectif sur les ruptures et les continuités entre ces deux types d'agricultures. Ouled Aïssa est une oasis où l'accès à l'eau et le travail des foggaras sont beaucoup plus difficiles que dans les autres oasis de Touat et Tidikelt et la partie Est du Gourara. La localisation géographique de l'oasis sur les lisières sud du Grand Erg Occidental fait de l'entretien des foggaras une tâche difficile. Certaines foggaras sont complètement ensablées et abandonnées, d'autres ont des débits faibles et ne dépassent pas 1.5 l/s. Dans cette oasis nous avons observé une orientation vers l'installation des puits individuels et parfois collectifs (entre 2 à 3 partenaires). Cela vient comme une stratégie face à la nature de la nappe d'eau souterraine dans cette zone qui est la nappe de l'erg, et à la topographie des terrains très peu inclinés, ce qui limite les possibilités de l'extension des foggaras. L'oasis est dotée d'un petit périmètre de mise en valeur dans lequel l'accès à l'eau reste la contrainte majeure pour les oasiens à cause des faibles potentialités de la nappe. Entre les deux secteurs (ancienne palmeraie et nouveau périmètre), les oasiens essaient de maintenir un minimum d'activité agricole qui assure une partie de leurs besoins et parfois générer un surplus destiné au marché. Contrairement à la nappe du Continental Intercalaire (CI) à l'est de la zone, où les débits exploitables sont souvent de 40 à 50 l/s, la nappe de l'erg n'offre que des débits généralement de moins de 4 l/s. La nature géologique du terrain est aussi différente et le coût de réalisation de puits reste le plus cher en comparaison avec la partie Est. Pour réaliser un puits, les oasiens font appel à des Syriens qui utilisent des sondes mécaniques. Le prix du mètre linéaire est de 5 500 à 8 000 dinars Algériens (environ 40 à 60 €) sur les lisières de l'erg comme à Ouled Aïssa contre moins de 3 000 dinars Algériens (environ 23 €) sur la partie du CI.

Afin de répondre à notre objectif et contribuer à comprendre les interactions entre les différentes composantes du système oasien à foggara, nous avons choisi l'approche de Modélisation à Base d'Agents (MBA) (Bousquet *et al.* 1993 ; Bousquet & Le Page, 2004 ; Banos & Sanders, 2013 ; Duboz & Müller, 2013 ; Le Page & Bommel, 2005). La MBA permet d'intégrer les différents éléments intervenants dans les transformations dans le système oasien à foggara. Elle permet de représenter les dynamiques et les stratégies que nous avons observées à l'échelle de l'oasis d'Ouled Aïssa et comprendre les différentes

interactions. Pour comprendre les interactions du système de foggara avec les autres dynamiques sur des échelles plus grandes ou plus petites, le modèle élaboré intègre d'autres composantes liées aux dynamiques (figure 5) : 1)- globales, qui permettent de reproduire les contextes hydrogéologique et économique de la zone (niveau et importance de la nappe souterraine, possibilité d'accès au travail, programmes de développement agricole et les subventions de l'État), 2)- locales, qui représente l'organisation spatiale et l'évolution démographique de la population de l'oasis, 3)- familiales, qui se traduisent par l'organisation des familles des propriétaires et leur évolution, l'évolution et le morcellement des parcelles, et 4)- individuelles (contribution aux travaux d'entretien). Ces niveaux sont introduits sous formes de données d'entrée qui permettent de tester les différents scénarios.

Le MBA élaboré sert à 1)- mieux comprendre les interactions à l'intérieur du système oasisien à foggara et relever les déterminants pour son renforcement et son maintien et 2)- un outil de dialogue permettant de rendre visible ces interactions avec les différents interlocuteurs (des scientifiques, des techniciens sur le terrain et des oasisiens) (figure 6).

Pour comprendre les dynamiques à l'échelle des foggaras, l'enquête menée sur l'oasis d'Ouled Aissa était plus orientée sur la compréhension des stratégies des propriétaires dans la participation à l'entretien des foggaras et l'installation des puits pour irriguer les anciennes parcelles en relation avec leur situation économique (professionnelle en particulier), et en relation aussi avec la possession des parcelles, ou pas, dans les périmètres de mise en valeur. Nous avons recueilli des données sur les transformations qui ont eu lieu dans cette oasis durant les cinq dernières décennies. Par la suite, nous avons rempli des questionnaires sur les puits installés dans l'ancienne palmeraie (année, profondeur, nombre de partenaires, nombre de parcelles irriguées, ...). Nous avons enquêté aussi le morcellement de certaines parcelles en parallèle de l'évolution de l'arbre généalogique des familles des propriétaires.

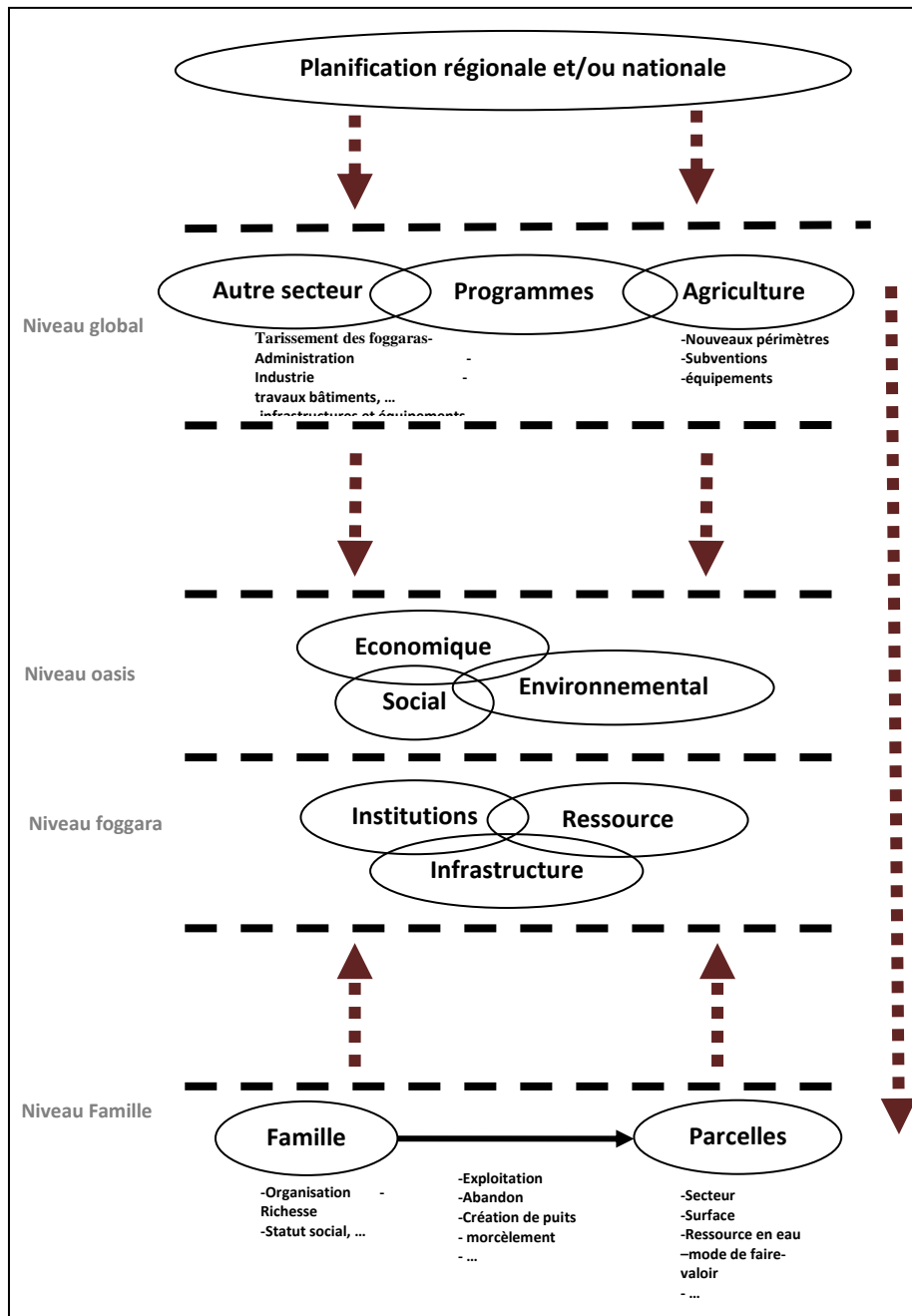


Figure 5 : échelles d'analyse et les principaux aspects étudiés

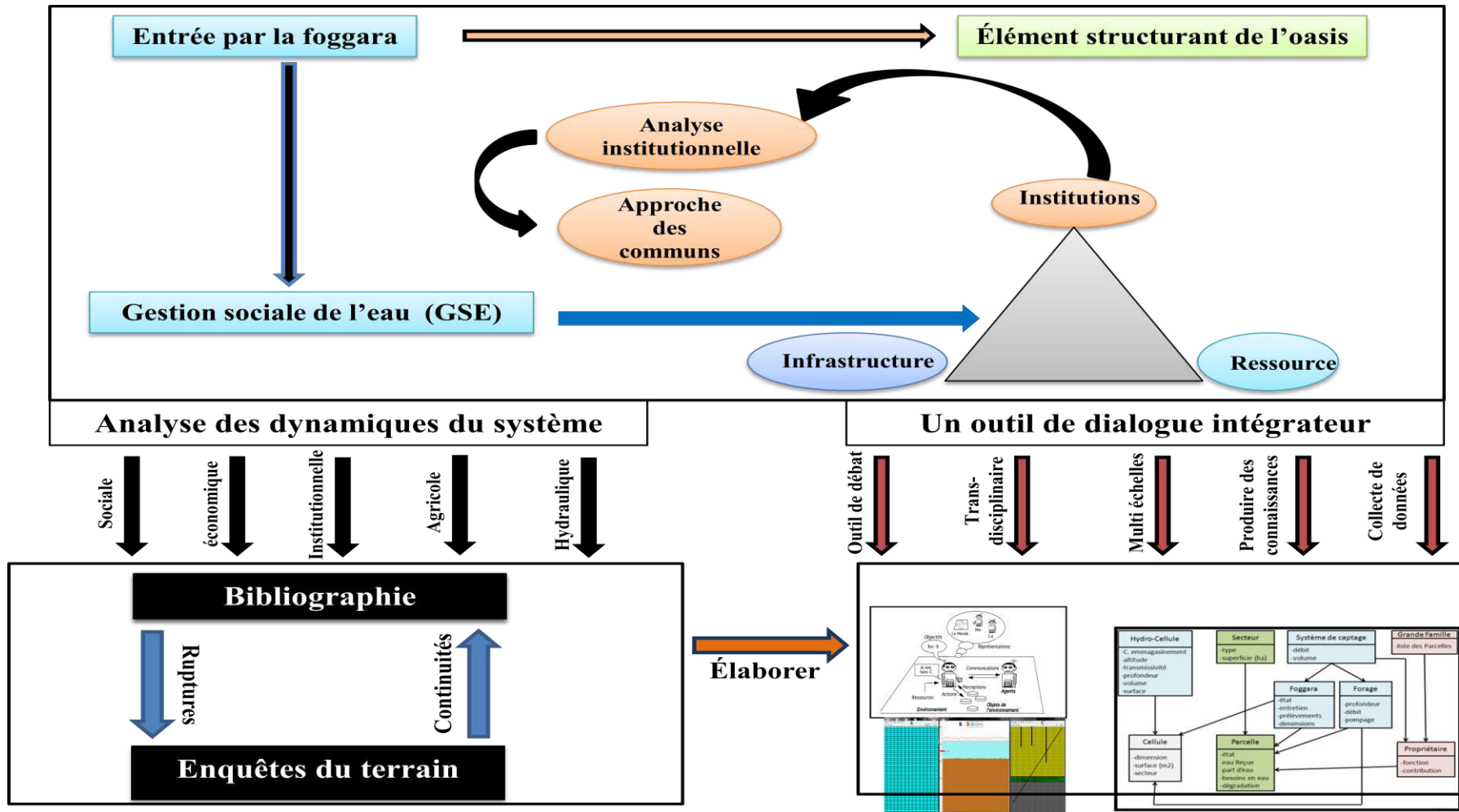


Figure 6 : Méthodologie de recherche

5- Organisation du manuscrit :

Suite à ce chapitre d'introduction, le manuscrit est organisé comme suit (figure 7) :

- Le premier chapitre discute le système de foggara à la lumière de l'approche des communs. À travers l'analyse du système par rapport à chacun des principes de bonne gestion proposés par Ostrom (1990), nous montrons que c'est grâce à la force des institutions et leur flexibilité que le système de foggara a pu être maintenu au cours des siècles.
- Dans le deuxième chapitre, et à travers l'étude de l'oasis de Lahmeur, nous démontrons les nouvelles stratégies développées par les oasiens face aux nouvelles transformations dans la zone. Par l'étude d'un système oasien de cinq foggaras hybridées avec un forage, le chapitre décrit et analyse les ajustements opérées par les propriétaires sur l'infrastructure hydraulique, l'organisation sociale et les institutions de gestion afin de maintenir leur agriculture.
- Le troisième chapitre explore la situation de l'agriculture saharienne dans les nouveaux périmètres de mise en valeur et sa relation avec l'agriculture oasienne traditionnelle. À travers l'analyse de quelques exemples sur le terrain, ce chapitre dévoile trois modèles émergents : une agriculture rentière basée sur le soutien et l'accompagnement de l'État, une agriculture entrepreneuriale ou transitoire en difficulté et une agriculture paysanne qui renouvelle les pratiques et les stratégies de l'agriculture oasienne.
- Le quatrième chapitre de cette recherche discute la question de maintien de l'agriculture saharienne dans ses deux formes, *traditionnelle* et *moderne*, par l'approche de la modélisation à base d'agents. Un modèle a été construit sur la base des enquêtes, des analyses et des résultats des chapitres précédents. La construction du modèle vise à développer un outil intégrateur qui permet d'intégrer des discours issus de disciplines scientifiques différentes.
- Dans le cinquième chapitre, le modèle a été utilisé, d'une part, comme un support de discussion avec les scientifiques, les techniciens du terrain et les oasiens. D'autre part, le modèle a été exploré par un plan d'expérience qui a permis de tester quelques hypothèses sur l'exploitation de l'eau souterraines par les forages/foggaras et l'exploitation des terrains agricoles en relation avec d'autres paramètres comme l'état de la nappe d'eau souterraine et l'accès des propriétaires au travail en dehors du secteur de l'agriculture.
- Enfin, nous terminons par une discussion et une conclusion générale qui synthétisent la problématique, les résultats et les perspectives de recherche.

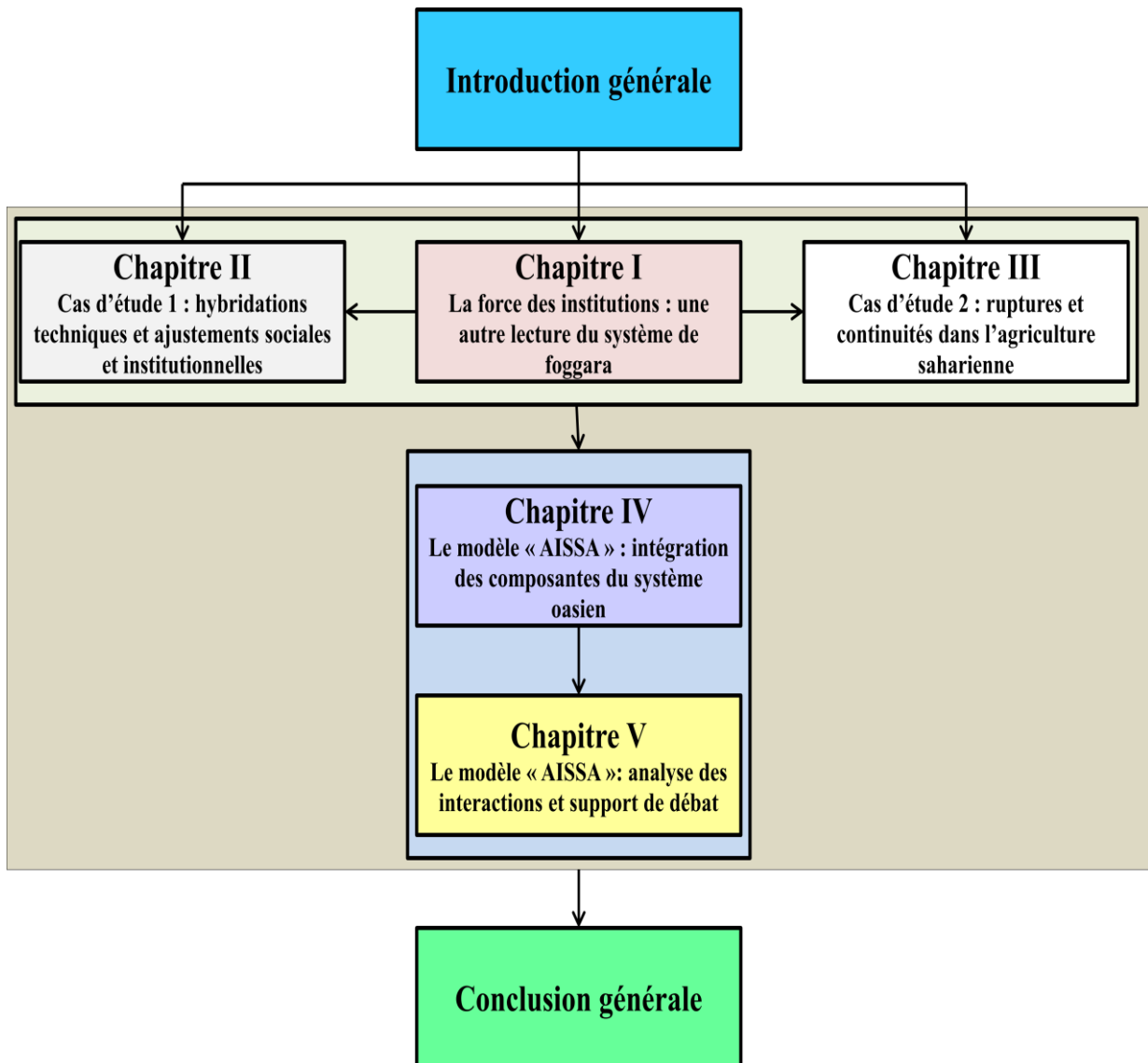


Figure 7 : Organisation du manuscrit.

Chapitre I :

La force des institutions : une autre lecture du système à foggara pour en analyser sa résilience

Depuis le début du XX^{ème} siècle, l'hypothèse d'un déclin des foggaras dans le Touat, Gourara et Tidikelt a été souvent évoquée par de nombreux observateurs. Elle a inspiré, par conséquent, l'imagination des aménageurs qui ont fait de ces oasis un système *traditionnel* rudimentaire incapable de suivre les reconfigurations socioéconomiques et environnementales et répondre aux besoins croissants de la société « *moderne* ». Néanmoins, et après plusieurs décennies de transformations, les oasiens montrent encore une grande dynamique autour des foggaras qui ne cessent de prouver leur capacité à surmonter les différentes contraintes. Dans ce chapitre nous émettons l'hypothèse que c'est la force des institutions d'irrigation qui explique la durabilité séculaire de ce système. À travers une analyse à la lumière de l'approche des communs et les huit principes de gestion proposés par Ostrom, nous montrons que la résistance des foggaras est le résultat de la combinaison entre, d'un côté, une organisation sociale et des institutions de gestion locale adéquates et d'autre côté une infrastructure hydraulique de partage qui permet la mise en pratique du système de gestion et répond aux exigences des conditions physiques hostiles.

1. Introduction :

Le maintien des oasis du Touat, Gourara et Tidikelt est souvent expliqué dans la littérature en relation à la présence du système de captage gravitaire qui est la *foggara* (Balland, 1992; El-Hadj, 1982; Kobori, 2008; Remini *et al.*, 2015a). Cette dernière permet l'irrigation permanente, depuis plusieurs siècles, dans des conditions très hostiles. Pour maintenir le fonctionnement de ce système, les oasiens ont mis en place des organisations sociales stratifiées (Grandguillaume, 1973; Guillermou, 1993; Marouf, 2017), considérées non équitables. Ainsi, pour expliquer la durabilité séculaire des foggaras, et par conséquent des oasis, on fait souvent référence à deux éléments explicatifs dans la littérature :

a)- le dispositif hydraulique qui permet d'avoir l'eau par gravité et sans énergie (Remini, 2016; Remini *et al.*, 2015b). « *Il n'y a pas de foggara hybride. Une fois la foggara est renforcée par pompage, on ne parle plus de foggara. Les agriculteurs ont simplement utilisé la galerie et le réseau de seguias pour amener l'eau de forage, et donc l'eau captée. Une foggara est un système hydraulique sans énergie (énergie = 0)* ». Cela est le commentaire d'un scientifique et spécialiste de la foggara en Algérie sur un article que nous avons publié et mis sur un réseau social dédié aux scientifiques (Remini, 2017)⁴. Ce regard très technique réduit la foggara au dispositif hydraulique de captage. En plus, cela ignore le fait que le fonctionnement séculaire des foggaras nécessitait une énergie plus coûteuse, la peine des hommes ;

b)- d'autres spécialistes ajoutent l'organisation sociale mise en place (Ghodbani *et al.*, 2017; Guillermou, 1993; Marouf, 2017), favorisée par le commerce transsaharien (Scheele, 2010, 2012) qui permettait aux oasis de Touat, Gourara et Tidikelt de se connecter avec le monde extérieur et de ramener une main d'œuvre bon marché pour le travail des foggaras, comme une deuxième condition nécessaire à la durabilité du système. Cependant, cette organisation est souvent montrée comme forme d'injustice sociale car basée sur l'exploitation d'une catégorie sociale défavorisée.

Dans ce chapitre, nous nous intéressons à une autre dimension du système oasien à foggara. En effet pour maintenir le fonctionnement des foggaras, et du système oasien dans son ensemble, les oasiens ont mis en place des structures d'organisation qui s'occupent de la gestion de différentes parties physiques et organisationnelles du système. La première autorité

⁴https://www.researchgate.net/publication/320587714_Monument_historique_ou_systeme_bien_vivant_Les_foggaras_des_oasis_du_Touat_Algerie_et_leur_realimentation_en_eau_par_pompage/comments

de l'oasis est la *djemâa* qui est le conseil local informel formé des notables de l'oasis, des personnes influentes et des hommes de la religion (l'*imam* en particulier). La *djemâa* s'occupe de la résolution de différents problèmes et conflits liés aux foggaras ou aux autres aspects de la vie oasienne. Avant de passer à la *djemâa*, la gestion de la foggara se fait par les propriétaires eux-mêmes. Dans chaque foggara, il y a au moins une personne qui joue le rôle de responsable du groupe. Il est volontaire et connu par ses initiatives et sa connaissance parfaite des détails de l'infrastructure physique et organisationnelle de la foggara. Il est souvent membre de la *djemâa* de l'oasis qu'il sollicite dans les situations compliquées qu'il n'arrive pas à résoudre avec les seuls propriétaires de la foggara.

En plus de ces deux organisations communautaires, la *zawiya* fait office d'autorité religieuse locale. À l'origine, la *zawiya* est un « *centre religieux fondé par un saint vénéré* » (Otmame, 2010). Elle est un lieu d'hospitalité pour les visiteurs et parfois doté d'une école coranique (*Madrassa*) qui abrite des élèves venus de différentes zones du pays (Yousfi 2011). La *zawiya* est gérée par le *Cheikh* ou *Mokaddem*⁵ qui est souvent un descendant du saint fondateur et une personne influente et respectée dans la société et il est aussi membre de la *djemâa*. La *zawiya* joue un rôle important de stabilité dans l'oasis et parfois dans l'ensemble de la zone.

À partir des années 1980 et 1990, de nouvelles formes d'agriculture et d'organisations sont encouragées par l'État. Ce dernier a exigé la mise en place d'une nouvelle organisation plus formelle pour la gestion des foggaras comme condition pour le financement des projets de réhabilitation et d'entretien. C'est l'association de la foggara agréée par l'État qui doit être fondée par une procédure plus démocratique à travers l'élection du bureau de l'association, accessible à tous les propriétaires de la foggara, et son président. En parallèle, l'État a entamé de grands programmes de mise en valeur agricole à côté des anciennes oasis au profit de la même population oasienne habituée à la gestion de l'eau par la foggara et sans distinction entre les différentes catégories sociales de l'ancien système (propriétaires et métayers). Cette nouvelle forme d'agriculture est basée sur l'exploitation, souvent individuelle, des eaux souterraines par des puits et forages motorisés qui permettent d'affranchir la contrainte

⁵ En pratique il y a une différence entre les deux appellations : un *Cheikh* (le maître) veut dire implicitement un savant de la religion et on le trouve souvent dans une *zawiya* qui intègre une école coranique (*Madrassa*), il s'occupe de la gestion de la *zawiya*, en relation avec son entourage social et économique, et de la formation des élèves de l'école coranique. Le *Mokaddem* (le chef) est celui qui s'occupe d'une *zawiya* qui n'est pas forcément dotée d'une école coranique, il n'est pas toujours un savant de la religion et il tire sa légitimité de l'appartenance aux descendants du saint fondateur. Le troisième cas est celui de l'école coranique (*Madrassa*), parfois aussi appelée *zawiya*, mais fondées par un *Cheikh* sans avoir un lien avec un saint.

topographique et d'irriguer des superficies plus grandes par rapport à l'ancien système irrigué par les foggaras.

Avec les transformations massives qui ont eu lieu depuis le début du XX^{ème} siècle, très peu d'observateurs croyaient en la capacité des foggaras à surmonter les transformations profondes et rapides que subit le système oasien. Un long débat a eu lieu sur le « *déclin* » des foggaras (Dubost & Moguedet, 1998; Papy, 1959; Remini *et al.*, 2014) considérées incapables de suivre les transformations sociales. Ce déclin était imputé à a) la disparition du commerce transsaharien, qui assurait la main d'œuvre servile, b) les reconfigurations sociales et économiques qui ont eu lieu au cours des cinq dernières décennies, en particulier le développement de l'agriculture saharienne et d'autres secteurs d'activité et c) par conséquent les reconfigurations environnementales avec le rabattement de la nappe qui rend le captage gravitaire difficile. En cas de généralisation de renforcement des foggaras par forages par exemple, Otmane (2010) estime que « *la foggara comme infrastructure va disparaître avec le temps [et] la vie sociale qui s'est développée autour d'elle perd son sens* ». Dubost & Moguedet (1998) supposent également que : « *En asséchant les foggaras, c'est toute une organisation sociale qui va implorer* ». Selon Granier (1980), cité par Bisson (1992), « *le système d'irrigation [par foggara] est effectivement devenu désuet non parce qu'une technologie supérieure l'a remplacé mais parce qu'il impose un travail de tradition servile, devenu incompatible avec une conception de la dignité que la Révolution agraire a participé à rendre à chacun* ». Ainsi, en empruntant un regard patrimonial, les foggaras immuables ne pouvaient être considérées conservées que par le maintien du même dispositif hydraulique (écoulement gravitaire) et de l'organisation sociale qui l'accompagne.

Avec un regard plus généralisé sur les systèmes communautaires de gestion des ressources et par l'étude de dizaines de cas empiriques, Ostrom (1993a) montre que dans les systèmes d'irrigation communautaires auto-organisés, même si l'infrastructure de captage et de distribution est rudimentaire et pourrait être améliorée, ces systèmes sont durables en raison de la grande capacité des irrigants à façonner des règles de gestion. Ainsi, « *la question la plus importante liée au développement [futur] de la ressource en eau est celle de la conception des institutions plutôt que de l'ingénierie [de l'infrastructure]* ». Pour cela, elle propose une grille d'analyse des systèmes de gestion communautaires basé sur huit principes supposés présents dans la majorité de ces systèmes durables (Ostrom, 1990, 1993a).

Utiliser cette grille d'analyse dans notre cas nous a semblé intéressants, car dans les oasis de Touat, Gourara et Tidikelt, après environ cinq décennies d'interventions et de transformations profondes, un nombre assez important de foggaras restent encore fonctionnelles aujourd'hui, malgré le déclin annoncé par les différents observateurs. Selon l'Agence Nationale des ressources hydriques (ANRH), sur un ensemble de 2000 foggaras inventoriées à la fin de 2016, 672 foggaras fonctionnent encore et assurent un débit total d'environ 1.8 m³/s. De plus, de nombreux exemples sur terrain montrent que l'hypothèse de déclin formulé depuis le début du XX^{ème} siècle ne peut être généralisée sur l'ensemble des foggaras de la zone. Malgré les mutations sociales, spatiales et économiques fortes, les paysans continuent à montrer un dynamisme réel et un grand attachement à l'activité agricole (Otmane, 2010). Selon la direction des services agricoles (DSA) d'Adrar, la superficie irriguée dans le secteur traditionnel est passée de 9 800 hectares en 1980 à 15 121 hectares en 2014. Une bonne partie de cette superficie est encore irriguée par les foggaras et le reste par des puits et des forages individuels, familiaux ou collectifs installés à l'intérieur des anciennes parcelles ou sur des parcelles d'extension. Cette continuité dans l'exploitation des foggaras se fait de manières différentes d'une zone à l'autre, d'une oasis à l'autre et même d'une foggara à l'autre selon les spécificités sociales, économiques et environnementales de chacune. Dans l'oasis de Tasfaout au centre de Touat par exemple, les oasiens continuent à entretenir leurs foggaras et cela durant un à deux mois de chaque année. La même situation nous l'avons constaté dans la foggara de Bousaïd à l'oasis d'Ouled Aïssa dans le Gourara. Dans d'autres cas dans le Touat en particulier, les foggaras continuent à fonctionner grâce aux renforcements par des forages gérés collectivement par les oasiens. En plus, de nombreuses opérations de réhabilitation ont été mise en place par l'État qui a consacré des budgets importants en réponse à la demande des propriétaires des foggaras organisés en associations (Ghodbani *et al.*, 2017). Les interventions consistent dans le remplacement des *seguias* par des canalisations en plastique ou en béton, le désensablement et l'aménagement des galeries et l'entretien et la construction des abris pour les puits. Dans l'oasis de Lahmeur dans le Touat, les oasiens ont mis en place une nouvelle organisation pour gérer un forage installé par l'État. Des ajustements ont touché à l'infrastructure de captage et de distribution et aux droits d'accès à l'eau et au foncier à travers l'attribution des terrains non exploités aux métayers auparavant défavorisés dans l'organisation sociale et les institutions de gestion. Ce cas d'étude fait l'objet d'une analyse plus approfondie dans le chapitre suivant. Ces exemples et d'autres sont une preuve de l'attachement des oasiens à ce système qui continue à fonctionner avec des ajustements et des adaptations dans les infrastructures, dans l'organisation et dans les institutions de gestion, et

cela en dépit des transformations profondes supposées capables de condamner le futur des foggaras dans cette zone.

Avec les grandes transformations qui ont lieu dans le Touat, Gourara et Tidikelt, le maintien des foggaras prenait un grand intérêt des pouvoirs locaux et nationaux, des scientifiques et des oasiens après l'abandon de nombreuses foggaras à cause aux reconfigurations sociales dues à l'arrivée de l'État et l'application de la loi de la révolution agraire (Bendjelid *et al.*, 1999), au développement économique par l'ouverture du marché du travail sur de nouveaux secteurs et hydrogéologiques issues de l'exploitation de la nappe avec de nouvelles techniques. Néanmoins, le constat que nous avons fait à travers les nombreux exemples enquêtés sur le terrain est celui de la continuité dans le fonctionnement du système de foggara (infrastructure hydraulique et institutions de gestion), malgré les mutations parfois profondes dans les contextes social, économique et environnementale de la zone. Ainsi, nous émettons l'hypothèse que la résilience et la durabilité des foggaras dans un milieu assez hostile était grâce à la mise en place des institutions fortes, flexible et capables d'opérer des ajustements nécessaires pour s'adapter aux différentes reconfigurations et affranchir des contraintes de natures différentes. Nous supposons également que cette caractéristique permet le maintien de la gestion collective des foggaras en dépit des transformations qui peuvent avoir lieu sur l'infrastructure de captage et/ou sur l'organisation sociale autour de la gestion de la ressource en eau.

2. Approche méthodologique :

Afin d'étudier le système de foggara et analyser les articulations entre les différentes composantes du système oasien ainsi que leurs rôles dans son maintien, nous adaptons une approche dans laquelle nous nous intéressons au triptyque « ressource, infrastructure et institutions » suivant l'approche de la gestion sociale de l'eau (Sabatier & Ruf, 1995). Cela permet d'une part de caractériser l'environnement physique et ses transformations et, d'autre part, d'observer les ajustements opérés dans l'infrastructure hydraulique et dans les règles de gestion. Cette approche permet aussi de montrer les ajustements opérés pour s'adapter aux spécificités du contexte social et économique.

Pour révéler l'importance des institutions et analyser leur intérêt dans le maintien du système de foggara, nous faisons appel au cadre d'analyse proposé par Ostrom (1990, 1993a). Concernant ses huit principes, elle suppose que « *les institutions robustes à long terme sont caractérisées par la plupart des principes de la bonne gouvernance* » (Ostrom, 2000).

Toutefois, certaines recherches ont montré que les cas d'études empiriques sur lesquelles elle a basé son étude ont été analysés de manière globale, mythique et idéalisée. C'est le cas des *huertas* de Valencia par exemple, pour lesquels Garrido (2016) explique que ce système a été idéalisé et mythifié par Ostrom, qui a repris des études de Thomas Glick, Arthur Maass et Raymond L. Anderson sans se rendre elle-même sur le terrain. Garrido démontre la résilience des institutions d'irrigation à Valencia, qui ont traversé des siècles, malgré le fait que – paradoxalement - les huit principes d'Ostrom ne s'appliquent pas forcément toutes à ce cas, qui constitue une des situations de terrains à partir desquelles ces principes ont été élaboré ! À travers une lecture à la lumière des huit principes de gestion des communs qu'elle propose, il conclue par dire : « *en admettant que les communs ne sont pas condamnés à une 'tragédie' inévitable, il ne faut pas les sur-idéaliser au point de les rendre un mythe* ». Récemment, plusieurs recherches ont adopté la démarche des huit principes d'Ostrom pour essayer de regarder à quel point ces principes sont respectés par certains systèmes de gestion des ressources communes (Baggio *et al.*, 2016; Bayazid, 2016; Cox *et al.*, 2010). Dans le présent chapitre, il ne s'agit pas d'adopter cette approche comme un simple outil de mesure et prendre une position par rapport à chacun des principes d'Ostrom. Cela risque de diminuer les chances de pouvoir dévoiler de nouveaux aspects intéressants qui ne pourraient pas forcément être claires avec une analyse qui vise à montrer seulement l'accomplissement, ou pas, à chacun des huit principes. Dans ce chapitre, il s'agit plutôt d'utiliser cette approche comme une entrée pour dévoiler les institutions dynamiques des systèmes à foggara et mieux décrypter la place des institutions dans la gestion et la durabilité des systèmes de gestion des ressources communes.

L'intérêt de l'étude du système de foggara par l'approche des communs réside dans la nature de l'objet d'étude et le contexte social, économique et surtout environnemental dans lequel il persiste. Historiquement, comme nous le montrerons dans ce chapitre, la foggara n'était pas conçue comme un système communautaire à l'origine, mais elle le devient comme réponse aux contraintes de l'hostilité. Contrairement aux autres contextes dans le monde, où on peut rattraper les échecs et rétablir le système, le système de foggara exige une coordination continue entre les oasiens afin d'éviter son échec et, par conséquent, celui de l'oasis en général. Afin de tester l'hypothèse de l'étude et analyser le rôle des institutions dans le maintien passé, présent et futur des foggaras, nous nous intéressons ici surtout aux cas des foggaras encore maintenues en cherchant à comprendre les facteurs derrière cette continuité.

Plusieurs sources ont été utilisées pour faire la présente étude. Elles sont de trois natures différentes à savoir :

a- Les ressources bibliographiques qui traitent les différents aspects sociaux, économiques et biophysiques de la zone d'étude en général et celles en relation avec la foggara en particulier. Cette bibliographie a permis de comprendre l'organisation des propriétaires de l'eau, les processus de réalisation et surtout d'entretien des foggaras, les règles de partage des eaux et les mécanismes de gestion et de résolutions des problèmes.

b- Par des entretiens semi-directifs réalisés avec 18 experts : responsables des associations des foggaras, responsables coutumiers et des experts locaux reconnus pour leur expérience dans les travaux d'entretien et dans les calculs de partage des eaux des foggaras. Les interviewés sont issus de 18 oasis situées dans les trois parties de la zone d'étude. Nous avons organisé aussi quatre réunions avec les responsables coutumiers de quatre foggaras réparties sur les trois parties de la zone. La première réunion a eu lieu à Timimoun au Gourara en collaboration avec l'Observatoire de la Foggara⁶. La deuxième et la troisième réunion ont eu lieu au Touat, respectivement dans les oasis de Brinkene et Tasfaout et la quatrième réunion au Tidikelt dans l'oasis d'Aoulef. Ces réunions ont permis de débattre les règles et les normes en relation avec les foggaras et leurs situations en relations avec les transformations socioéconomiques et hydrogéologiques dans la zone. Nous avons réalisé d'autres interviews avec les techniciens des services administratifs à Adrar qui sont en relations avec l'étude et la réhabilitation des foggaras notamment la Direction des Services Agricoles (DSA), la Direction des Ressources en Eau (DRE), l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) et la Conservation des Forêts. Les débats concernaient leurs points de vue, leurs visions du futur et le déroulement et l'évaluation des opérations de réhabilitations qu'ils financent et encadrent sur terrain. Ces services nous ont fourni aussi des statistiques en relation avec leurs interventions.

c- Depuis 2010 nous avons fait plusieurs missions sur le terrain qui ont permis de construire une bonne compréhension du fonctionnement du système oasien, les dynamiques actuelles et les modes d'adaptations des autochtones aux transformations socio-économiques et environnementales, par rapport à la baisse du niveau de la nappe en particulier. Durant la période de juillet-septembre 2016, nous sommes passés pour enquêter au moyen d'un questionnaire les propriétaires dans 18 foggaras réparties sur 13 oasis dans les trois parties de

⁶ C'est un organisme installé depuis 2011, chargé de l'étude de différents aspects socioéconomiques et environnementaux liés à la foggara.

la zone (annexe 2). Le choix de l'échantillon a été basé sur les critères spatiaux (répartition sur les trois parties de la zone qui ont chacune leurs spécificités, diversité physique et situation par rapport aux centres urbains), les périmètres de mise en valeur agricole (présence ou pas, petite ou grande mise en valeur), l'état des foggaras (pérennes ou tarées).

Dans ce chapitre nous analysons les principales transformations relevées dans les oasis visitées.

3. La foggara : principe de fonctionnement et organisation sociale

d- Connue sous les noms de qanat en Iran, falej à Oman, karez au Pakistan, khattara au Maroc, la foggara est un système hydraulique de captage d'une nappe d'eau en profondeur et de distribution de l'eau basé sur l'irrigation gravitaire, régi par un ensemble de règles. À l'origine, le Touat, Gourara et Tidikelt étaient une zone de pâturage qui s'est transformée petit à petit en zone de sédentarisation. Les premières oasis étaient basées sur l'exploitation des petits cours d'eau et des sources situées sur les lisières du plateau de Tademaït⁷. Selon Martin (1908) « [dans cette zone], *le premier travail hydraulique humain constitua des bouches qui ont vomi d'elles-mêmes leurs eaux au-dessus de la surface, ont été jaillissantes, et que, plus tard, ces eaux ayant cessé de jaillir pour devenir seulement ascendantes, des galeries furent creusées pour aller les chercher au niveau qu'elles ne dépassaient plus dans leurs puits primitifs* ». La première foggara de la zone est celle de *Hannou* dans l'oasis de Tamentit qui était un puits à l'origine⁸.

Plusieurs hypothèses ont été élaborées sur la présence de ce système à Adrar. Selon Capot-Rey (1962), « *il ne faut pas trop compter sur l'Histoire, car les chroniques qui parlent de Tamentit sont imprécises ou contradictoires. Pour les unes, la première foggara creusée à Tamentit aurait été l'œuvre d'un Arabe originaire d'Égypte ; ... Pour d'autres, ces foggaras auraient été creusées par les Barmecides, Musulmans d'origine iranienne qui seraient venus en Afrique du Nord à la chute de l'empire d'Haroun er Raschid* ». Une autre hypothèse suppose le développement de cette technique par la population Zénète locale suite à la diminution du niveau piézométrique et la difficulté d'exploiter l'eau par les puits tarées.

⁷ La toponymie des oasis garde encore des noms zénètes qui signifient la présence de l'eau en surface (*Tala* - source, *Tasfaout* - lac, *Bouda* - l'eau est ici...).

⁸ Selon Capot-Rey le mot est venue du Zénète (*anou* - puits). En admettant cette hypothèse, nous précisons ici que ce nom signifie en zénète un puits large dont le diamètre dépasse généralement les 2 mètres. Pour un puits de petit diamètre, il porte le nom de *t-anout*, qui est le féminin de *anou*

Le principe de fonctionnement d'une foggara est théoriquement simple, mais il demande un savoir-faire particulier et un travail pénible pour la réalisation. L'infrastructure de captage de la foggara est une galerie souterraine inclinée et dotée de puits d'aération et d'entretien (figure 8). Elle permet de conduire l'eau de la nappe en surface par gravité. La galerie est souvent de plusieurs kilomètres de longueur et les puits sont de quelques mètres à des dizaines de mètres de profondeur en fonction des conditions physiques locales. Contrairement à ce qu'on peut penser, la partie qui assure le captage des eaux est la galerie et non pas les puits (Remini, 2016). Ces derniers servent à l'entretien de la galerie et à son aération pour éviter les effondrements. Arrivée en surface, l'eau est canalisée à la palmeraie dans des conduites en terre (*seguias*). Pour augmenter le débit d'une foggara, il faut approfondir les galeries, réaliser une nouvelle extension en amont (galerie et puits) ou faire une nouvelle branche.

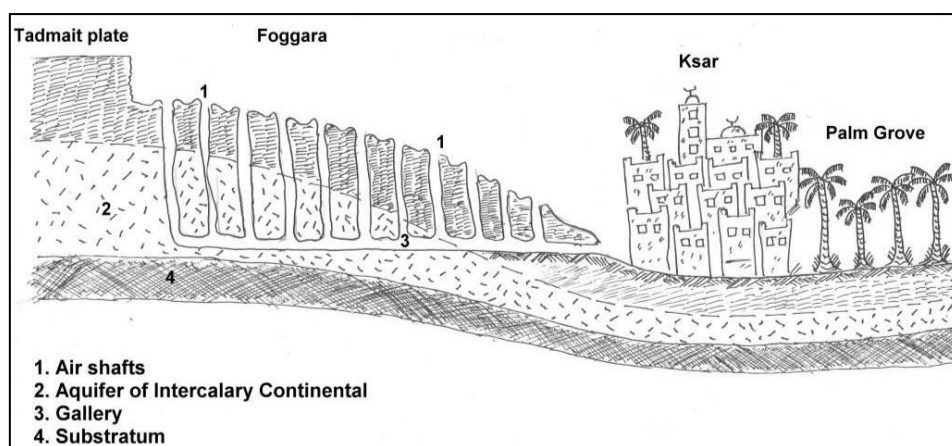


Figure 8 : schéma des composantes d'une foggara et son principe de fonctionnement (Remini & Achour, 2016)

Pour le partage, la foggara de *Hennou* à Tamentit adapte un partage horaire. Chaque propriétaire a un tour d'eau qui lui permet d'irriguer sa parcelle. Selon Capot-Rey (1962) « [avec l'augmentation du nombre de propriétaires], *la part de chacun étant plus petite, il devenait impossible de garder le partage en temps, car chaque ayant droit aurait dû attendre trop longtemps son tour. On a adopté alors le système de partage en volume* ». Dans ce dernier, l'eau est distribuée dans un bassin triangulaire (*kasria* - peigne) doté de trous ou d'ouvertures de dimensions proportionnelles aux parts d'eau des propriétaires. Le débit total est mesuré avec une plaque en cuivre dotée de trous de plusieurs dimensions qui représentent les unités de mesures. Chaque membre de foggara reçoit sa part d'eau qui est proportionnelle à sa contribution dans les travaux de réalisation (El-Hadj, 1982). Cette technique, particulière à la zone, assure l'écoulement permanent de l'eau dans les parcelles agricoles et permet de faire l'irrigation quotidienne des cultures. Le partage de l'eau est assuré par le maître de l'eau

(*kial El-ma*) qui maîtrise l'utilisation de la plaque en cuivre (*Louh* ou *chagfa*) (cf. photo 1). Il est aidé par quelqu'un qui maîtrise les calculs de la foggara (*Elhassab* - le calculateur). Les noms des propriétaires et leurs parts d'eau sont mentionnés sur le registre de la foggara (*Zmam*) gardé par l'un des notables ou par l'*imam* de l'oasis.



Photo 1 : Maître de l'eau avec sa plaque en cuivre à l'oasis de Tittaf (S.Idda, avril 2017)

Contrairement aux autres foggaras du monde, les conditions hostiles de la zone et les débits restreints des foggaras ne permettent pas d'établir un partage par tour d'eau. Les cultures doivent être irriguées en permanence et ne supportent pas d'attendre le tour d'eau qui peut être de plusieurs jours, surtout en période estivale. Ainsi, chaque parcelle est dotée d'un bassin de collecte d'eau en terre (*majen*) dont la taille est proportionnelle au volume d'eau qui arrive en 12 heures ou 24 heures, selon la part d'eau, la superficie de la parcelle et les pratiques d'irrigation adoptées par le propriétaire⁹.

En plus du dispositif technique qualifié d'« *ingénieux* » (Otmane, 2010 ; Remini *et al.*, 2014), l'organisation sociale dans les oasis du Touat, Gourara et Tidikelt est particulière. La société est stratifiée avec deux grandes catégories :

⁹ Si la part d'eau est assez grande et/ou le propriétaire a une bergerie sur la parcelle, il passe deux fois par jour pour irriguer les cultures et/ou nourrir le bétail. Si la part est petite et/ou la parcelle est loin du ksar et/ou il dispose d'autres parcelles à travailler, il passe une seule fois par jour.

- les notables qui sont les propriétaires de la majorité des parts d'eau et de la terre. C'est une catégorie composée de trois principaux groupes ethniques (les Chorfa¹⁰, les Mrabtime¹¹ et les commerçants arrivés au fil du temps des zones steppiques et du nord du pays).
- Les métayers¹² (Marouf, 2017), c'est une catégorie qui était défavorisé et ne possédait qu'une mineure partie des parts d'eau et des parcelles agricoles (Martin, 1908). Néanmoins, elle possède un bon savoir-faire dans le travail des foggaras et dans l'agriculture.

Pour maintenir le fonctionnement du système, les propriétaires contribuent aux différents travaux d'entretien. Ainsi, l'action collective est au centre des dynamiques dans ces oasis. L'ensemble des interventions d'entretien, de partage, de régulation de situations de conflits et de gestion de manière générale sont dictées par des règles auxquelles tous les habitants de l'oasis doivent obéir.

Aujourd'hui, avec les transformations sociales, économiques et environnementales, les foggaras se trouvent en mutation face à des techniques d'exploitation modernes plus puissantes. À l'instar d'autres systèmes d'irrigation communautaires, l'installation des nouveaux périmètres de mise en valeur agricole à côté des anciennes oasis montre la difficulté de cohabitation des deux systèmes « *traditionnel et moderne* » (Hamamouche, 2017). Cette difficulté résulte de la complexité des relations issues des nombreuses continuités : l'exploitation d'une même ressource en eau souterraine, sur le même espace et par les mêmes acteurs entre les oasis traditionnelles et les nouveaux périmètres de mise en valeur. Selon Hamamouche *et al.* (2018) « *on peut conclure que les nouvelles extensions sont la nouvelle version de l'oasis traditionnelle qui sont mieux adaptées à la mondialisation mais avec une continuité avec les anciennes oasis* ».

Dans le cas des oasis à foggaras dans le Toutat, Gourara et Tidikelt, l'introduction des moyens d'exhaure moderne a permis la diminution de la peine des hommes et d'offrir des débits plus importants mais, en parallèle, cela a provoqué une diminution remarquable dans le niveau statique de la nappe, dans le travail consacré pour l'entretien et, par conséquent, dans les débits des foggaras. Dans un contexte pareil, l'analyse du système de foggara nous le faisons en regardant aussi les stratégies des propriétaires afin de maintenir le système au regard des

¹⁰ Descendants du prophète, c'est la catégorie située au sommet de la pyramide du pouvoir local.

¹¹ Descendants des saints (marabouts).

¹² Appelé aussi harratine, ce sont généralement des descendants des anciens esclaves arrivés par le commerce transsaharien.

nouvelles extensions. Il s'agit alors de montrer aussi comment les oasiens ont pu se procurer des apports de la modernité pour perpétuer le fonctionnement des foggaras.

4. Résultats : Les foggaras dans la zone d'étude : Ruptures et continuités

4.1. D'un bien familial à un bien commun

Avant d'analyser la situation des foggaras à la lumière de la théorie des communs, il est important de noter que, historiquement, ce système est né dans cette zone comme un dispositif hydraulique individuel ou en petit collectif souvent familial qui a évolué sous des motivations sociales, économiques et environnementales diverses pour devenir un bien commun. De nombreuses foggaras portent encore aujourd'hui les noms de leurs propriétaires. Sur 687 foggaras pérennes inventoriées par l'ANRH¹³, nous avons compté plus de 200 foggaras ayant les noms des personnes (Ba Moussa, Hadj Ahmed, Ali Mansour, Messaoud, ...) ou des noms des familles ou des tribus (Ouled Othmane, Ouled M'hamed, Ait Amrane, Ait Abdallah, ...). Le reste de foggaras portent des noms qui traduisent généralement le contexte physique local et les caractéristiques des foggaras parfois en langue arabe et souvent en Zénète (*Kebira, amokrane* (la grande), *Seghira* (la petite), *Agoujil* (orphelin), *Mazzar* (la pente raide), ...). Cela témoigne de leur appartenance à des membres limités au niveau des familles au début et l'agrandissement du groupe de propriétaires au fil du temps. Ce passage d'un bien familial à un bien commun est le résultat des héritages successifs d'un côté et de l'introduction de nouveaux membres d'autre côté, et ceci comme réponse aux contraintes de l'aridité. Ce point sera développé avec plus de détails dans la prochaine section de ce chapitre.

Dans ce qui suit, nous allons présenter un certain nombre de situations où les foggaras continuent à jouer un rôle important.

4.1.1. L'oasis de Tasfaout : des foggaras qui continuent d'être entretenues

Les enquêtes réalisées sur le terrain nous ont permis de montrer de nouvelles formes d'adaptations face aux transformations récentes. Durant le mois d'août 2016, à l'oasis de Tasfaout dans le Touat, environ 40 km au sud d'Adrar, trois foggaras étaient en cours d'entretien en parallèle. Les travaux étaient entièrement assurés par les propriétaires selon des stratégies d'organisation différentes. Pour la plus grande foggara de l'oasis appelée Cheman, qui a un débit de 12 l/s (ANRH, 2011) réparti sur 65 parts d'eau, dont la grande part appartient à la *zawia* de l'oasis, les travaux d'entretien continuaient depuis 40 jours. Les propriétaires sont organisés en équipes où chaque propriétaire doit assurer sa part de travail ou

¹³ Agence Nationale des Ressources Hydrauliques

payer le salaire d'un ouvrier pour lui remplacer. Chaque équipe doit assurer un nombre défini de jours de travail de manière à toucher à l'ensemble des puits de la foggara à la fin des travaux. Les équipes sont formées surtout de jeunes accompagnés des anciens ayant plus de savoir-faire dans ces travaux (photo 2).



Photo 2 : Deux jeunes (le deuxième en profondeur) accompagnés par un ancien sur un puits d'entretien (S.Idda, août 2016)

Pour la gestion de la foggara, les discussions menées avec les propriétaires ont montré une situation de désaccord entre les deux catégories sociales de l'oasis. Tandis que certains notables tirent leur pouvoir de l'association de foggara agréée par l'État, les anciens métayers se montrent plus dynamiques à travers la gestion pratique de différentes activités liées à l'entretien et le partage des eaux de la foggara, ainsi que l'application des règles de gestion. Selon les mots d'un ancien métayer et responsable coutumier du groupe, en réponse à une question sur les procédures à suivre en cas de non contribution d'un propriétaire aux travaux d'entretien : *« la contribution est obligatoire, la zawiya qui a le plus de pouvoir contribue régulièrement à tous les travaux,... quand tout le monde paye, on insiste auprès de la personne, on déclare son nom à la djemâa, la personne est mal vue dans la société, on est passé par plusieurs cas pareils, mais on n'était pas arrivé au stade de sanctions »*.

Cette dynamique est motivée aussi par l'absence de puits dans les parcelles agricoles à cause de la mauvaise qualité des eaux en profondeur sur la partie avale de l'oasis. Les familles qui n'ont pas, ou très peu d'eau de foggara, ont essayé d'installer un nouveau périmètre dans le

cadre de différents programmes de développement agricole. Cette initiative a rencontré un refus catégorique par les propriétaires des foggaras qui ont justifié cela par l'impact des forages sur les foggaras dans d'autres oasis de la zone. Ce refus a été pareillement déclaré par les propriétaires des foggaras dans plusieurs oasis visitées. Dans l'oasis de Brinken dans la commune Tsabit au nord-ouest d'Adrar, où une dizaine de foggaras sont encore fonctionnelles, la part des métayers est presque nulle. Ainsi, certains d'entre eux ont commencé à installer des puits individuels en amont de l'oasis à côté des puits des foggaras. Cette initiative fût mise en échec après l'intervention des propriétaires des foggaras qui ont mis fin à l'installation de ces puits et ont complètement empêché leur exploitation par pompage. Aujourd'hui, ce sont les jeunes descendants de ces propriétaires qui apprennent et assurent les travaux d'entretien des foggaras malgré la modeste exploitation dans les parcelles agricoles.

4.1.2. L'oasis de Ghram Ali : renforcement par un puits motorisé et travail familial rémunéré

Dans l'oasis de Ghram Ali, commune de Bouda, à 20 km de la ville d'Adrar dans le Touat, la foggara de Guermekker encore pérenne a été renforcé, depuis 1991, par un puits alimenté en électricité solaire et éolienne¹⁴ (photo 3), en panne depuis 2008. L'eau du puits a été raccordée à la canalisation principale de la foggara et la distribution n'a pas changé en aval. Pour l'entretien, les propriétaires ne s'occupent pas directement de travaux. En raison de la localisation de l'oasis située proche de la ville d'Adrar, de nombreux propriétaires, de différentes catégories sociales, et leurs descendants occupent des postes de travail permanents, dans le tertiaire en particulier. Sur 33 propriétaires interviewés, 17, soit un peu plus de 50 %, sont fonctionnaires dans les différents services administratifs et dans le secteur d'éducation, et deux fonctionnaires dans le secteur de l'énergie. Ainsi, la participation se fait par la cotisation de l'argent nécessaire pour réaliser les travaux. Par la suite, les responsables de la foggara recrutent des ouvriers en donnant la priorité aux membres des familles des propriétaires : c'est le travail familial rémunéré. D'après un responsable de la foggara, tous les propriétaires ont contribué à la cotisation pour les travaux réalisés durant le mois de juillet 2016 par des ouvriers recrutés et aidés par un engin (bulldozer) loué pour réaliser les grands travaux de désensablement en surface.

¹⁴ De nombreux puits ont été réalisés par les services de la DSA (direction des services agricoles) destinés au début à l'alimentation des bétails, camelin en particulier. Avec l'échec de l'opération, ils ont été équipés de pompes solaires et éoliennes pour renforcer les foggaras. Plusieurs puits rencontrés sur le terrain ne sont pas exploités en raison des pannes dans panneaux solaires et les éoliennes ou le rabattement du niveau de la nappe d'eau souterraine.



Photo 3 : Un puits doté d'un panneau solaire et d'une éolienne à Fenoughil (S.Idda, février 2018)

4.1.3. Les oasis de Kasbat Maikhaf et Zaouit Hainoune : l'entretien par les familles est dorénavant payant

Au Tidikelt, dans les deux oasis de Kasbat Maikhaf et Zaouit Hainoune dans la commune d'Aoulef, les travaux sont moins fréquents et se réalisent une fois sur plusieurs années selon le débit des foggaras. L'entretien se fait aussi par cotisation d'argent où chaque propriétaire paye une somme proportionnelle à sa part d'eau dans la foggara. Selon la quantité des travaux nécessaires, les propriétaires estiment un montant à payer par unité de mesure (*habba*). Ainsi pour les dernières campagnes d'entretien, le montant était de 100 DA/*habba* pour la foggara de Ben Drâou et de 60 DA/*habba* pour la foggara d'Ighjer. La réalisation des travaux se fait uniquement par les jeunes écoliers, fils des propriétaires, avec un petit salaire de 500 DA/jour¹⁵ accompagnés par un ou deux anciens en tant que chefs de travaux. Selon un interviewé : « *cela permet d'une part de transmettre le savoir-faire à ces jeunes et d'autre part de leur permettre de gagner un peu d'argent et aider leurs familles pour couvrir les frais nécessaires à l'achat de leurs besoins à la prochaines rentrée scolaire* ». Pour la foggara de Ben Drâou, ils ont cotisé environ 300 000.00 DA, soit l'équivalent des salaires de 20 jeunes écoliers pour les travaux d'un mois.

¹⁵ Environ 50 % du salaire d'un adulte dans des travaux similaires.

4.1.4. Dans le Gourara : un entretien réduit en cas de crise

Au Gourara, moins de dynamiques ont été observées sur l'entretien des foggaras. À El Ouajda par exemple, les jeunes descendants des propriétaires des foggaras de l'oasis se chargent des travaux d'entretien seulement pour quelques jours de l'année et surtout en cas d'effondrement ou de diminution remarquable de débit. Cette situation est accentuée, selon certains interviewés, par l'accès aux fonctions en dehors de l'agriculture et l'accès individuel aux puits d'irrigation. Sur 34 interviewés dans cette oasis, 17 ont des fonctions stables en dehors de l'agriculture et 16 parcelles sont alimentées par l'eau des puits individuels ou en collectif de la même famille.

4.1.5. Les oasis de l'erg dans le Gourara : une situation critique, mais un retour d'intérêt pour les foggaras

Dans les oasis situées sur les lisières de l'erg au Gourara, la situation des foggaras semble la plus critique. En plus de l'effet des transformations socioéconomiques récentes, l'ensablement permanent nécessite des travaux réguliers d'entretien pour maintenir les débits. Les pentes sont beaucoup moins importantes dans cette partie de la zone, cela limite les possibilités de l'extension des foggaras et, par conséquent, de leurs débits. Dans l'oasis d'Ouled Aissa par exemple, la foggara de Mahri a été abandonnée à cause du manque d'entretien et l'avancement des dunes sur une grande partie des galeries et des *seguias* et cela après la régression de l'intérêt des propriétaires envers l'entretien de la foggara et le travail des parcelles (Idda, 2011). Les parcelles encore exploitées sont irriguées uniquement par des puits réalisés entre les propriétaires de la même famille ou pour irriguer plusieurs parcelles d'un même propriétaire (*cf.* chapitre III). La même situation a été constatée pour la foggara de Messaoud. Néanmoins, un regain d'intérêt pour les foggaras a été remarqué au cours des dernières années. Pour la petite foggara de Boussaid qui appartient à 14 propriétaires seulement, dont 11 métayers, les travaux d'entretien se réalisent chaque année. Les propriétaires accèdent à la cotisation de l'équivalent de deux semaines des salaires des ouvriers. Par la suite, les travaux se réalisent uniquement les week-ends durant les mois d'avril et mai. Généralement, ce sont les descendants des propriétaires qui assurent ces travaux et récupèrent, en contrepartie, l'argent fourni par leurs familles.

Ces exemples de pratiques et de stratégies des paysans montrent des dynamiques intéressantes autour des foggaras de Touat, Gourara et Tidikelt. Malgré la dominance d'un discours moderniste dans les instances publiques et même scientifiques qui donne aux foggaras, et donc au système oasien, le statut du traditionnel et du patrimoine figé dans le temps, les

oasiens ont montré que ce système est capable de s'adapter aux différentes transformations récentes. Cette adaptation est une caractéristique ancestrale du système oasien en général et des foggaras en particulier. Elle touche aux différents côtés du système à savoir l'infrastructure de captage et de distribution, l'organisation socioéconomique et la mise en place des institutions de gestion autour de la ressource. Pour s'affranchir du problème de rabattement et de la contrainte topographique, les oasiens ont installés des puits et des forages. Dans d'autres cas, comme nous le montrons dans le chapitre suivant, ils ont permis l'accès des anciens métayers (khammès) à la propriété foncière et en eau. Afin d'assurer les travaux d'entretien des foggaras et maintenir le travail familial, ce dernier est devenu rémunéré. L'ensemble a pour objectif le maintien de l'activité agricole indispensable pour assurer les besoins, au moins partiels, de la population locale et symbole d'identité pour les oasiens (*cf.* chapitre V. Section discussion du modèle). Ainsi, pour qualifier les ruptures et les continuités des foggaras, on doit regarder les finalités qui sont derrière. Autrement dit, on regarde la capacité des paysans à maintenir l'agriculture oasienne et les ajustements entamés autour de la ressource, l'infrastructure et les institutions.

La vision très disciplinaire que portent beaucoup de chercheurs, décideurs et aménageurs aujourd'hui ne peut aboutir qu'à un regard limité qui conduit, par la suite, à des prévisions souvent pessimistes. La définition de la foggara ne peut être réduite à sa rentabilité économique, à l'ingéniosité de son dispositif hydraulique qui permet un captage gravitaire, à l'organisation sociale mise en place ou même à la mise en disponibilité de l'eau dans un contexte hostile. Le système de foggara est un système d'irrigation qui conjugue l'ensemble de ces éléments en se basant sur l'action collective maintenue grâce à une structure institutionnelle forte, assez flexible et capable de s'adapter aux différentes contraintes sociales, économiques et environnementales afin d'exploiter une ressource en eau souterraine nécessaire à l'activité agricole dans un milieu hostile. La qualification des ruptures et des continuités doit se faire par rapport à l'efficacité des institutions et leur capacité à maintenir les valeurs de l'action collective et de solidarité indispensables à la vie dans une aridité pareille.

Cette finalité de la foggara semble évidente pour les oasiens qui n'hésitent pas à opérer, chaque fois, les ajustements nécessaires au maintien de leur agriculture. Nos propres observations sur le terrain, ainsi que quelques exemples bien documentés montrent une diversité importante de situations. Comme le montre J. Bisson dans ses travaux sur les oasis de l'erg, Ajdir, Tinerkouk et Talmine en particulier, les foggaras, comme dispositif

hydraulique, ont complètement disparues, parfois depuis quelques siècles (Bisson, 1990, 2003). Néanmoins, le savoir-faire agricole et les traditions d'organisation et d'action collective dans ces oasis leur permettent d'être parmi les paysanneries les plus solides au Sahara. Le maintien de cette agriculture était possible grâce aux différentes pratiques d'adaptation parfois par la « *mobilité des terroirs* », en déplaçant les parcelles agricoles vers l'aval afin de maintenir l'irrigation gravitaire (Bisson, 1983; Bisson, 1992). D'autres fois, ces adaptations s'opèrent par la modification dans le dispositif hydraulique de la foggara ou même, « *lorsque les possibilités techniques sont épuisées* », son remplacement par les puits individuels ou encore par la mise en place des cultures en sec en exploitant la nappe libre de l'erg située à une faible profondeur (*ibid*). Si les foggaras comme infrastructure hydraulique ont subi plein de transformations, et ont même disparues dans certaines de ces oasis, ce sont bien ces valeurs de solidarité acquises qui ont permis aux oasiens de maintenir les foggaras pendant des siècles. En plus, la mise en pratique de ces valeurs sur les travaux de foggaras a permis de renforcer l'action collective dans les oasis de Touat, Gourara et Tidikelt. Ces valeurs laissent encore des traces dans la vie quotidienne de ces paysanneries. Pour combattre l'ensablement par exemple, un travail permanent de lutte est régulièrement assuré en appliquant des techniques séculaires. Ce travail est assuré par la mobilisation de l'ensemble des habitants de l'oasis chaque fois que cela est jugé nécessaire.

Même si leurs conclusions ne sont pas très explicites par rapport à l'hypothèse que nous développons dans ce chapitre, les travaux de Bendjelid (2011) et Bendjelid *et al.* (1999) montrent à leur tour cette capacité d'adaptation des oasiens aux transformations récentes. Cela ne se fait pas seulement dans le côté agricole de l'oasis, mais aussi dans l'ensemble des aspects de la vie des oasiens, et en relations avec le nouveau contexte marqué par de grandes transformations et d'une intervention profonde de l'État pour maîtriser cet espace et améliorer les conditions de vie de la population locale.

5. Une lecture des institutions des foggaras à la lumière des principes de gestion proposés par Ostrom

L'analyse des systèmes de gestion des ressources communes par Ostrom avait pour but de révéler les facteurs qui expliquent la durabilité de systèmes malgré les multitudes contraintes liées à la nature de la ressource et la difficulté de maintenir l'action collective autour d'elle. Ainsi, Ostrom suppose que la présence d'un ensemble de principes, qu'elle a trouvé dans la majorité de ces systèmes durables, permet d'éviter la surexploitation de la ressource et, par

conséquent, d'éviter « *la tragédie des communs* » (Hardin, 1968). Le cas des foggaras de Touat, Gourara et Tidikelt est un peu particulier dans la mesure où le risque ne se posait pas par rapport à la durabilité de la ressource elle-même, mais plutôt par rapport à la durabilité du système d'exploitation qui permet l'irrigation dans un contexte hostile. Avec les nouvelles extensions des périmètres de mise en valeur, la situation devient différente. L'utilisation de nouveaux moyens de pompages a mis en avant la question de la surexploitation de la nappe qui exige de prendre la durabilité de la ressource comme une vraie préoccupation des oasiens pour préserver leur système.

5.1. Les droits d'accès doivent être clairement définis (Clearly defined boundaries)

La définition des limites de la ressource et du groupe d'utilisateurs ayant droit à l'exploitation peut être considérée comme le premier principe pour une gestion durable de la ressource commune et dans l'organisation de l'action collective. Si les limites de la ressource ne sont pas claires, personne ne sait ce qu'il gère et pour qui (Ostrom, 1993b). Nous analysons ce principe sous deux composantes séparées (Cox *et al.*, 2010), une pour montrer les limites du groupe d'utilisateurs et l'autre pour montrer les limites de la ressource.

La propriété de la foggara, comme nous l'avons montré dans la section précédente de ce chapitre, commence à l'origine par un groupe limité à l'échelle de la famille. En cas de plusieurs propriétaires, la part d'eau de chaque membre est proportionnelle à sa contribution aux travaux de réalisation. Le groupe est agrandi par trois procédés différents. Le premier et le plus important est par héritage. Au cours des siècles, les parts d'eau et les parcelles irriguées se divisent entre les descendants des propriétaires. Cela n'a pas d'influence sur la quantité totale d'eau captée par la foggara ni sur la superficie qu'elle irrigue. Son impact se voit par contre dans le morcellement successif des parcelles et la ramification du réseau des *seguias* de distribution. Le deuxième procédé d'agrandissement du groupe des propriétaires de la foggara est par la vente des parts d'eau. Dans les institutions de la foggara les propriétaires sont libres de faire ce qu'ils veulent avec leurs parts d'eau. Ils peuvent vendre une partie, la louer, l'échanger contre un autre bien et même la déclarer comme don à une institution religieuse par exemple. L'interdiction d'accès de la catégorie sociale des métayers (*harratin*) à la propriété de la foggara, que l'on trouve dans la littérature, semble exagérée. En réalité, il n'y a pas de règle qui cadre le passage de la propriété en tenant compte du statut social des personnes. Néanmoins, les propriétaires ont tendance à préférer de passer leurs propriétés à des personnes qui appartiennent à la catégorie des notables. Sur le plan institutionnel, cette pratique peut être classée comme stratégie (*i.e.* sans déontique ni sanction) (*cf.* chapitre IV,

section méta-modèle AMIA) (Crawford & Ostrom, 1995). Le troisième procédé d'élargissement du groupe de propriétaire est par l'ajout de nouveaux membres sous la condition d'un accord entre les propriétaires. Cette permission est due surtout à la diminution du débit de la foggara ou le besoin des propriétaires à agrandir leurs parts d'eau. Cette permission peut être aussi justifiée par la solidarité du groupe avec un habitant de l'oasis en besoin d'exploiter une parcelle agricole. Les nouveaux membres doivent assumer à leurs frais l'extension de l'ouvrage de captage et l'augmentation du volume d'eau captée. Ce dernier procédé d'élargissement du groupe de propriétaires se trouve limité par les contraintes physiques du terrain. Chaque puits d'extension installé en amont devient plus profond par rapport aux autres puits à son aval, ce qui demande plus d'investissement pour le relier à la foggara. Cela signifie aussi la nécessité de plus d'investissement pour avoir une petite quantité d'eau. Par exemple et selon Dubost & Moguedet (1998), dans l'oasis de Timokten dans le sud de la zone d'étude, la réalisation d'une foggara de 1 km de longueur a demandé le travail continue de 17 propriétaires entre juillet 1987 et février 1992 pour avoir un débit de 3 l/s. L'exception se fait l'eau domestique dont tous les habitants de l'oasis peuvent utiliser l'eau de la foggara et sans règles qui définissent le moment ou la quantité accessible.

En ce qui concerne la ressource exploitée, la particularité des foggaras est leur exploitation d'une ressource en eau souterraine et donc non visible. Elle est soumise aux conditions hydrogéologiques de la zone. La quantité d'eau captée est plus ou moins stable et diminue très légèrement au fil du temps. Néanmoins, elle peut diminuer en cas de création de puits ou d'autres foggaras sur l'aire de captage de la foggara concernée. C'est pourquoi, le groupe désigne une aire de protection sur lequel toute exploitation exogène est interdite. Dans le cas contraire, des techniques traditionnelles locales sont appliquées afin de confirmer l'impact des nouveaux puits sur le volume d'eau captée par la foggara. Nous citons à titre d'exemple une technique qui était utilisée dans certaines oasis pour résoudre les conflits en relation avec les limites de l'aire de captage d'une foggara : elle consiste à mettre du goudron dans le puits suspecté, l'odeur et le goût de l'eau de la foggara sont contrôlés durant plusieurs jours. Si le goût et/ou l'odeur du goudron est marquée, la preuve est faite que le puits est dans l'aire de captage de la foggara et son exploitation sera interdite, sinon le puits peut être exploité normalement.

La particularité des foggaras réside dans la difficulté d'intégrer l'aspect de durabilité de la ressource car elle est invisible. Contrairement aux autres systèmes d'irrigation qui exploitent les eaux de surface, dont le risque de la surexploitation représente une contrainte importante

pour la gestion du système, dans le cas de la ressource en eau souterraine on s'intéresse à la préservation du débit d'exploitation et le maintien d'une irrigation par gravité plutôt qu'à la préservation de la ressource en elle-même, quitte à approfondir la galerie drainante, d'ajouter des puits à l'amont ou de déplacer les jardins irrigués vers l'aval.

5.2. Les avantages doivent être proportionnels aux coûts assumés (Congruence between appropriation and provision rules and local conditions)

Comme Cox *et al.* (2010), nous considérons deux sous principes 2A et 2B. Concernant le principe 2A, qui stipule la congruence¹⁶ entre les règles de provision et d'appropriation d'une part et les conditions physiques et socioéconomiques locales d'autre part, la technique de captage des eaux dans la foggara et les institutions mise en place pour sa gestion ne prennent pas directement ce principe en considération. Néanmoins, la nature de la ressource et du système de son exploitation rendent ce principe une évidence en pratique. L'exploitation de la nappe avec la foggara ne présente pas de risque de surexploitation à court terme car elle capte seulement le toit de la nappe. Même en cas de volonté d'augmenter la quantité d'eau exploitée, cela ne peut être une mince affaire car elle demande un énorme travail. Le dispositif technique de la foggara la rend sensible au moindre rabattement de la nappe. La galerie draine le toit de la nappe d'eau et le débit de la foggara varie en fonction du niveau d'eau. La quantité d'eau arrivée dépend souvent des conditions locales de la nappe et des moyens disponibles pour augmenter le débit capté. Cette augmentation se fait surtout dans le cas d'une diminution très importante des débits pour laquelle les membres décident de l'augmenter par approfondissement ou allongement de la galerie. Avec l'introduction des puits et des forages de renforcement motorisés, ce principe a profondément changé. Les paysans ont plus de capacité de maîtrise de débits captés et le système devient moins sensible aux prélèvements réalisés ailleurs mais, en parallèle, la durabilité de la ressource devient moins maîtrisable.

Le principe 2B stipule que la congruence entre les règles d'appropriation et de provision doit être accomplie pour le bon fonctionnement des systèmes de gestion des ressources naturelles. Dans le système des foggaras, la part d'eau de chaque propriétaire est proportionnelle à sa contribution dans les travaux de réalisation de la foggara. Deux méthodes sont utilisées pour calculer les parts d'eau. La première est souvent appliquée pour la réalisation d'une nouvelle foggara par plusieurs familles. Tous les membres se mettent en accord pour travailler

¹⁶ Cela signifie de prendre en considération les conditions locales de la ressource. Dans les systèmes irrigués basés sur les eaux de surface par exemple, la congruence stipule l'exploitation des quantités d'eau suffisantes à l'irrigation durant les périodes pluviales, tandis que durant les périodes estivales la ressource est moins exploitée et l'irrigation se fait avec plus de prudence afin d'assurer l'approvisionnement de tous les membres du groupe avec un minimum d'eau nécessaire.

ensemble durant le même temps et sans distinction de puits ou de galerie. Dans ce cas l'eau captée est partagée en fonction de la quantité du travail assurée par chacun. Dans l'autre cas, surtout pour faire l'extension de la foggara et intégrer de nouveaux membres, chacun de ces derniers s'occupe d'un certain nombre de puits et de la tranche de la galerie qui les relie. Généralement, la moitié de l'eau captée par la partie d'extension revient aux personnes qui ont fait le travail d'allongement et l'autre moitié pour les anciens membres comme droit issu de l'ancienne partie déjà réalisée. La part des nouveaux membres est décidée aussi en relation avec les conditions locales du terrain. Si l'extension demande beaucoup du travail, ceux qui l'ont fait peuvent réclamer une part plus élevée de l'eau ramenée, jusqu'au $2/5$ de l'eau ramenée par l'extension. Dans la foggara de Cheman à Tasfaout dans le Touat, les puits d'extension en amont et les galeries souterraines sont plus profonds, ainsi la part de celui qui fait l'extension est de $2/5$ de la nouvelle quantité d'eau captée. Un autre exemple est celui de la foggara de Boussaid à Ouled Aissa. C'était une foggara qui irriguait une ancienne oasis et était abandonnée depuis plusieurs siècles. À la fin des années 1970, 14 familles ont décidé de l'entretenir et ramener l'eau à l'oasis actuelle d'Ouled Aissa. Pour encourager les familles qui n'ont pas de moyens et exprimer la solidarité entre eux, ils ont décidé de partager l'eau qui arrive à des parts égales sans prendre en considération la contribution de chacun. Les travaux ont duré 25 mois, soit d'avril à août pendant cinq ans pour assurer un débit d'environ 1.5 l/s.

Le bassin de partage ou répartiteur (*kasria*) doté de trous ou d'ouvertures permet l'attribution des mêmes proportions pour chaque propriétaire en cas d'augmentation ou de diminution du débit de la foggara (photo 4). Pour renforcer les règles de partage, des jaugeages souvent annuels sont effectués pour contrôler les parts ou faire des modifications en cas de ventes ou d'héritages. Il y a deux valeurs caractéristiques pour chaque foggara, une théorique qui est celle du volume d'eau mesuré lors du premier jaugeage à la fin des travaux et sur laquelle est basé le partage, et une autre réelle qui peut changer à chaque nouveau jaugeage. Chaque propriétaire s'adapte aussi individuellement par la mise en culture des surfaces différentes entre les saisons en fonction des expériences du passé. Les parcelles sont organisées souvent sous forme rectangulaire dans la direction de la pente, permettant à chaque propriétaire d'avoir plus d'espace dans le cas d'augmentation de volumes d'eau ou le déplacement de la parcelle vers l'aval en cas de rabattement de la nappe et l'approfondissement du niveau de la galerie.

On note aussi qu'une fois les parts d'eau définies, elles ne sont pas réévaluées en fonction de l'effort d'entretien fourni par les propriétaires. Dans plusieurs oasis visitées, pour les foggaras

qui ont des petits débits la participation à l'entretien ne prend pas la part d'eau en considération.



Photo 4 : Kasria ou peigne de distribution de l'eau de la foggara dans l'oasis d'Ouled Brahim (S. Idda, juin 2016).

5.3. Des procédures doivent être mises en place pour faire des choix collectifs (Collective-choice arrangements)

Ce principe stipule, selon Ostrom, que tous les membres concernés par le système doivent pouvoir participer à la modification des règles de gestion. Dans le système de foggara les règles de gestion sont souvent partagées dans toute la zone. Néanmoins et pour surmonter les contraintes locales et les conditions spécifiques de chaque foggara les choix sont faits parfois localement. Dans chaque oasis il y a la *djemâa* qui s'occupe de la mise en place des règles de gestion. Elle se réunit surtout en cas de problème (diminution de débit, manque d'entretien, effondrement, infraction de règles, conflit, ...etc), sur la demande d'un responsable coutumier, dans la cour du village, la *zawiya* ou à la mosquée. Pour discuter d'un sujet donné, tous les habitants concernés peuvent assister sauf en cas de situations de conflits ou de blocage qui nécessitent des réunions fermées. Les propriétaires de la foggara comme les autres habitants de l'oasis peuvent exprimer leurs propositions pour façonner les règles. En cas de conflit par exemple, la solution peut être proposée par un oasien non propriétaire dans la foggara en question, mais qui est passé par une situation pareille. Dans certains cas, pour exprimer sa solidarité, celui qui propose se porte volontaire pour contribuer au travail ou aux frais nécessaires pour résoudre le problème. L'implication de tous les habitants de l'oasis est justifiée aussi par l'influence de fonctionnement d'une foggara sur les autres foggaras de

l'oasis. Comme nous le montrons dans le principe numéro 6 (mécanismes de résolution de conflits), les règles façonnées sont appliquées, par la suite, dans les autres foggaras de l'oasis. Ainsi, la mise en place de ces règles, leur ajustement et leur adaptation au contexte local reste un souci de l'ensemble des habitants de l'oasis. Cette implication collective aura des avantages dans le renforcement de l'application des règles qu'on expliquera dans le principe sur les sanctions.

5.4. Des règles de supervision et surveillance doivent exister (Monitoring)

Ce principe a été séparé par Cox *et al.* (2010) en deux parties : 4A qui stipule la présence des contrôleurs et 4B qui stipule que ces derniers doivent être membres des groupes de propriétaires. Malgré le fait que l'architecture de la foggara représente en elle-même une sorte de garantie au bon déroulement des règles, il y a certains éléments qui nécessitent un contrôle permanent qui est souvent fait par tous les membres. L'absence de tours d'eau fait qu'il y a peu de problèmes de surveillance. Néanmoins, le cas fréquent est au niveau de la *kasria* (peignes de distribution ou répartiteurs), le seul objet qui nécessite un contrôle et où les propriétaires passent souvent de manière individuelle et volontaire pour contrôler et relever tout objet gênant à la bonne circulation de l'eau. Le moindre changement dans la dimension des ouvertures fait l'objet de constat. L'état du peigne se fait contrôler par la suite par l'une des personnes puissantes et respectés dans le groupe pour être, ensuite, mise en discussion par l'ensemble des propriétaires. Quant au contrôle de la participation aux travaux d'entretien, c'est la tâche du responsable coutumier du groupe aidé par les autres propriétaires. Dans les institutions de gestion de la foggara, le contrôle est bien présent mais sans désigner une personne car cela génère des coûts supplémentaires. En laissant cette tâche ouverte à tous les propriétaires, et même aux autres habitants de l'oasis qui doivent déclarer toute infraction de règles, le contrôle devient une responsabilité collective. Ainsi, l'appartenance des contrôleurs au groupe de propriétaires n'est pas toujours garantie.

5.5. Des sanctions graduelles et différenciées doivent être appliquées (Graduated sanctions)

Ostrom a montré que les sanctions dans les systèmes robustes de gestion des ressources communes sont graduées en fonction de l'importance des violations des règles. Pour mieux éclairer le contexte des foggaras, et rendre la situation de ce principe plus explicite, il est nécessaire de souligner à quel point son tarissement peut être nuisible aux propriétaires et au reste des habitants de l'oasis. Une foggara abandonnée donne lieu à des parcelles sans eau d'irrigation et donc à des propriétaires avec très peu ou même sans moyens de subsistance.

Pour les foggaras qui passent par les villages et alimentent les populations en eau domestique, c'est l'ensemble des habitants de l'oasis qui sont touchés en cas de déclin. Ainsi, l'infraction des règles est rare et limitée, par exemple la non-participation aux travaux d'entretien est généralement due à des raisons bien reconnues par les autres membres du groupe. Quand une personne est jugée à interrompre la règle pour des raisons non justifiées, les sanctions sont appliquées par les propriétaires eux-mêmes qui peuvent par exemple prélever des produits des parcelles du propriétaire condamné, ou la personne paye une amende au groupe de propriétaires. L'amende est proportionnelle à la participation manquée, mais la sanction n'arrive jamais jusqu'à exclure la personne du groupe. Mieux encore, la sanction ne consiste jamais à priver un usager de sa part d'eau ou à la réduire. Dans ce système on fait bien la distinction entre la contribution à l'installation de la foggara qui donne droit à une part d'eau et les autres règles de fonctionnement.

5.6. Des mécanismes de résolution des conflits doivent être institués (Conflict-resolution mechanisms)

Ce principe suggère la facilité de résoudre les conflits entre les membres du groupe avec un coût minimum. Comme nous l'avons déjà mentionné dans les principes 4 (contrôle) et 5 (sanctions graduées), la société oasienne dans la zone d'étude a tendance à mettre en place des institutions adaptées à leur contexte et de développer une infrastructure physique, la *kasria*, capable de minimiser les infractions des règles et les conflits. Néanmoins, arriver à une situation où tout le monde respecte parfaitement ces institutions reste un objectif loin d'être atteint. Au cours des siècles de fonctionnement des foggaras, des conflits de natures et de fréquences différentes ont eu lieu. C'était souvent le résultat des mauvaises interprétations des règles en vigueur ou des situations particulières aux contextes social et physique locaux. Pour résoudre ces situations, les oasiens font appel à plusieurs moyens et autorités : a) le groupe des propriétaires, b) la *djmâa* qui regroupe les personnes puissantes et les plus influents dans la société en plus des hommes de la religion, ils peuvent être membres du groupe de propriétaires ou pas, c) les hommes de la religion sollicités par tous les groupes des foggaras de la zone d'études. Ceux-ci étaient basés surtout dans Touat, plus précisément dans l'oasis de Tamentit connues historiquement comme centre judiciaire de la zone. Les hommes de la religion interviennent surtout dans les situations de blocage institutionnel. Les juges se trouvaient face à des conflits qui ne peuvent pas être résolus on se basant uniquement sur les textes de la *chariaa* (la source religieuse de législation) car le contexte local pose souvent des particularités bien spécifiques. Ce genre de problème est appelé *nazilah* définie comme « *La décision d'un juriste ou d'un spécialiste au sujet d'un scénario réel et offre au public et aux*

juges un choix de solutions qui peuvent être adoptées dans la pratique. Une nazilah peut être décrite comme un cas nouveau et génère une jurisprudence qui s'adresse aux réalités humaines, sociales et économiques à un moment et un lieu particuliers » (Moosa, 1999). Dans ce cas-là, les normes coutumières « *aurf* » sont aussi prises comme source de législation, sinon le juge passe à la jurisprudence où il donnait son propre avis pour résoudre le problème, il est pris comme jugement. Plusieurs manuscrits datés du 17^{ème} siècle sont encore présents, ils racontent ces conflits, les jugements et les solutions adoptées pour résoudre les conflits. L'expérience locale s'enrichissait au fil du temps par ces expériences qui deviennent de plus en plus rares. Une fois la situation réglée, la solution est adoptée comme règles dans le reste des oasis de la zone.

5.7. L'État doit reconnaître l'organisation en place (Minimum recognition of rights to organize)

Pour ce principe Ostrom (1990) considère que la durabilité des systèmes de gestion des ressources communes nécessite que les autorités extérieures reconnaissent un minimum de droits du groupe à émettre les règles de gestion du système. La situation géographique de la zone fait qu'elle était durant des siècles considérée comme zone de transit entre l'Afrique du Nord (le nord-ouest actuel de l'Algérie et l'est du Maroc) et les pays du sud (Mali, Niger, Soudan, ...). Les caravanes du commerce transsaharien trouvaient les oasis pour se reposer avant de continuer leurs trajets. Les autorités extérieures n'avaient pas d'autorité sur l'organisation locale des oasis, car elles cherchaient la stabilité qui permettait aux caravanes de passer régulièrement. Pour les membres des groupes de propriétaires, ils avaient tout le droit de s'organiser mais toujours dans la mesure d'être dans le format organisationnel standard de l'ensemble de la zone, cela leur permettait de résoudre leurs conflits et problèmes en profitant des expériences menées dans les autres groupes. Après l'indépendance, l'État algérien et à travers la réforme agraire des années 1970, a essayé de considérer l'eau des foggaras comme une propriété collective qu'il s'agit de redistribuer équitablement. Dans certains cas, des parcelles ont été attribuées à de nouveaux propriétaires qui n'ont pas des terrains agricoles. En raison d'une méconnaissance du système, les nouveaux propriétaires se trouvaient sans eau d'irrigation car dans ce système l'eau est *célibataire*, c'est-à-dire elle n'est pas reliée à la terre. Dans quelques cas, des parts d'eau et des parcelles ont été attribuées ensemble pour de nouveaux propriétaires. Cela aussi n'a pas marché, car les nouveaux propriétaires originaires de ces oasis croient plus dans les institutions locales qui ne leur permettent pas d'accéder aux propriétés des autres habitants de l'oasis quoi que ce soit le motif et même en présence d'une autre autorité plus puissante. Actuellement, les foggaras

sont entièrement gérées par leurs propriétaires et avec le soutien de l'État qui finance des travaux de réhabilitation et d'entretien.

5.8. L'ensemble du système est organisé à plusieurs niveaux imbriqués (Nesting)

Selon Ostrom (1990), l'imbrication organisationnelle concerne les différents aspects du système et désigne leur organisation sur plusieurs niveaux verticaux hiérarchiques : les niveaux inférieurs sont entièrement contenus dans le niveau strictement supérieur. Dans le système des foggaras, la situation ressemble davantage à la proposition de Cox *et al.* (2010) qui généralisent ce principe pour représenter a)- les liens verticaux entre les différents niveaux d'organisations, dans notre cas entre foggara, oasis et l'ensemble de la zone : comme nous l'avons montré aussi pour les principes numéro 3 (le choix collectif) et numéro 6 (résolution de conflits), les règles de gestion de la foggara sont partagées dans l'ensemble de la zone de Touat, Gourara et Tidikelt. Ainsi, les ajustements et les adaptations mises en place intéressent les propriétaires des autres foggaras de l'oasis et même de l'ensemble la zone. En revanche, et de manière informelle, une foggara fait partie d'un ensemble plus grand auquel les propriétaires doivent le suivi de son fonctionnement général. b)- les liens horizontaux dans un même niveau, où le groupe de propriétaires est souvent influencé par le déroulement de la gestion dans d'autres foggaras dont certains membres peuvent posséder d'autres parts d'eau. La situation n'est pas tout à fait imbriquée, mais des liens horizontaux indirects existent entre les différentes foggaras d'une même oasis. Pour un paysan, qui possède des parts d'eau dans plusieurs foggaras, il est indispensable de maintenir le bon fonctionnement dans chacune des foggaras pour donner une bonne image et inciter au respect des règles dans les autres foggaras. Un autre élément qui renforce ces liens est l'existence de certaines personnes qui jouent le même rôle dans toutes les foggaras de la même oasis et même dans plusieurs oasis de la zone. C'est le cas du maître de l'eau qui s'occupe de la mise en place des *kasriat* (pluriel de *kasria*) dans les différentes oasis. Il utilise les mêmes règles et les mêmes pratiques de partage dans toutes les foggaras. Un autre exemple est celui de l'*imam* sollicité pour résoudre les conflits (*cf.* principe numéro 6), il utilise aussi les mêmes règles pour toutes les foggaras de l'oasis. Cette imbrication est le résultat des interférences entre les différents acteurs dans les institutions informelles du système de foggara.

6. Retour aux foggaras et transformation de l'agriculture saharienne, des réponses aux mutations récentes

Face à l'installation de nouveaux périmètres de mise en valeur agricole et l'introduction de nouveaux modes de captages des eaux souterraines, les foggaras et le système oasien

traditionnel au Touat, Gourara et Tidikelt ont vu un recul dans leurs dynamiques. Les oasiens avaient tendance à profiter des avantages des programmes de développement agricole qui ont mis en cause la gestion collective de ces oasis par la mise en place d'un système d'exploitation individuel en attribuant des parcelles aux oasiens qui se portaient candidats. Chaque bénéficiaire obtenait des subventions pour réaliser un forage, équiper sa parcelle et la cultiver. En parallèle, les organisations locales de gestion des foggaras (la *djemââ*) semblaient moins fortes avec l'arrivée de l'administration et la mise en place de nouvelles organisations à côté du pouvoir traditionnel dans ces oasis. Pour maintenir leurs foggaras, et en réponse à la demande du pouvoir étatique local, les propriétaires des foggaras se sont organisés dans des associations agréées par l'État. Ces dernières se portaient pour défendre l'intérêt des propriétaires qui réclament l'aide de l'État afin de réhabiliter leurs foggaras.

La mise en place des nouvelles structures formelles (les associations) dominée par les règles et les lois de l'administration à côté d'une ancienne organisation gérée par les institutions locales (le groupe de propriétaires, la *djemâa*, la *zawiya*) ne pouvait se faire sans passer par des situations difficiles et parfois de conflits. Ainsi, pour mettre en place une association reconnue par l'administration, les propriétaires se trouvent devant deux possibilités : la première est de choisir des membres ayant un certain niveau qui leur permettent de suivre les démarches administratives, parfois compliquées, et donc ce sont des jeunes ayant moins d'expérience pratique dans la gestion du système de foggara. La deuxième possibilité est de mettre des membres ayant plus d'expérience, mais qui se trouvent par la suite démunis face aux démarches administratives compliquées et qui finissent par s'opposer aux choix des techniciens de l'administration ou même face aux entreprises durant les phases d'exécution des travaux. Des désaccords ont fréquemment émergé entre les propriétaires, les services techniques des administrations et les entreprises chargées de réaliser les travaux. Pour résoudre ce problème, il a été décidé de mettre en place un comité de suivi qui regroupe en plus des techniciens et de l'association un expert local de la foggara concernée par les travaux avec l'entreprise durant la phase d'exécution des projets. Malgré cela, la grande partie des oasiens interviewés ont exprimé leur mécontentement à la manière dont ces projets de réhabilitation ont été menés.

En profitant des apports de la modernité et en s'adaptant au nouveau contexte administratif, les oasiens n'ont pas abandonné leurs foggaras ni leurs organisations de gestion. Les associations mises en place n'ont eu qu'un rôle limité à l'accompagnement des exigences de l'administration et, parfois, instrumentalisées par certains propriétaires ou même par toute une

catégorie sociale pour affranchir les contraintes des anciennes institutions informelles (cf. chapitre II dans lequel nous analysons un cas du terrain qui montre bien comment une catégorie sociale défavorisée dans les institutions informelle a instrumentalisé l'association pour mieux se positionner). En pratique, et malgré de nombreux désaccords dus à la volonté des membres responsables dans les associations de dominer les institutions locales et parfois pour avoir une sorte d'ascension sociale, c'est toujours l'ancienne organisation qui joue le rôle primordial dans la gestion des foggaras et la situation de ces associations aujourd'hui montre bien ce propos. Avec la diminution des aides accordées à la réhabilitation et l'entretien des foggaras, la majorité des associations ne sont plus agréées aujourd'hui et ne respectent plus les normes requises par l'administration pour le renouvellement de leurs agréments. Pour renouveler l'agrément de l'association, les propriétaires de la foggara doivent se réunir, renouveler le bureau de l'association et déposer un dossier de demande de renouvellement auprès des instances administratives concernées. Malgré la facilité des procédures, et selon l'Observatoire de la Foggara, seulement 40 associations des foggaras étaient en situation régulière en 2015, soit environ 3 % du total des foggaras inventoriées et environ 4.5 % des foggara pérennes. L'intégration des foggaras dans la nouvelle situation sociale, économique et administrative de la zone a été modéré par la force des institutions de gestion qui ont permis de maintenir l'action collective. Pour la réhabilitation des *seguias* par exemple, malgré leur remplacement par des canaux couverts en plastique ou en béton, le bassin de distribution est gardé toujours à ciel ouvert (photo 5). Cela permet de rendre le partage visible à tous les propriétaires, faciliter le contrôle et empêcher toute modification dans les parts d'eau.



Photo 5 : Répartition de l'eau par kasria (peigne) à ciel ouvert, pour garder le partage visible malgré le remplacement des seguias par des canalisations en béton et en plastique (S.Idda, avril 2017)

Récemment, avec la diminution des subventions de l'État, en particulier celles destinées aux petits agriculteurs, on assiste à une « *revivification de l'agriculture oasienne* » (Hadeid *et al.*, 2018). Sur les trois parties de la zone d'étude de Touat, Gourara et Tidikelt, nous avons constaté un retour remarquable des oasiens à leurs foggaras et à l'agriculture oasienne. Ce retour se manifeste sous plusieurs formes à savoir l'entretien des foggaras dégradées, la réhabilitation de certaines foggaras abandonnées et la mise en place de nouvelles formes d'organisation et de gestion des foggaras et des parcelles agricoles dans le secteur traditionnel et même les périmètres de mise en valeur (*cf.* chapitre III pour plus de détails sur la manière dont les oasiens ont transformé les nouveaux périmètres de mise en valeur pour les adapter aux conditions hostiles qu'ils connaissent bien).

Dans plusieurs oasis visitées entre 2015 et 2016, nous avons constaté un retour à l'entretien des foggaras, parfois négligées par leurs propriétaires depuis plus de dix ans. Pour la foggara d'Arkes à l'oasis d'Ouled Brahim dans le Touat, par exemple, les propriétaires n'ont pas contribué aux travaux depuis 1986 suite à un conflit sur les parts d'eau en parallèle du développement d'autres secteurs d'activité dans la ville voisine d'Adrar. Depuis, dans le cadre de différents programmes de réhabilitation lancés par l'État, la foggara a bénéficié de trois projets de réhabilitation de puits, d'entretien et de canalisation. En 2015, suite à la diminution des débits, les propriétaires se sont organisés pour cotiser l'argent nécessaire à l'entretien des

galeries souterraines pour une période de deux mois. Un autre exemple est celui de l'oasis d'Elbarka dans le Gourara. La foggara d'Elfidilia, qui alimente cette oasis, avait selon l'ANRH un débit d'environ 18 l/s en 2011. La diminution du débit au cours de trois dernières années a motivé les jeunes descendants des propriétaires pour organiser une campagne d'entretien de trois jours par semaine et cela durant deux mois de l'année 2018. Malgré l'enregistrement d'un projet de réhabilitation financé par l'État au niveau des administrations concernées, les propriétaires n'ont pas voulu attendre le temps nécessaire aux démarches administratives du projet. Pour eux, le retard d'intervention peut laisser la situation se compliquer. Ainsi, les travaux ont touché à la *segua*, à la galerie et surtout aux puits ensablés. La participation s'est faite d'une manière solidaire par contribution directe ou par financement sans obliger les propriétaires qui ont des empêchements.

L'exemple le plus emblématique est celui de la foggara de Tourfine à Aoulef dans le Tidikelt. Avec une longueur de 12 km, elle avait un débit de 11 l/s en 1998. La foggara et les parcelles qu'elle irriguait ont été abandonnées suite à l'ensablement causé par les inondations qui ont touché la zone en 2009. En 2015, les propriétaires se sont organisés pour la retravailler en s'organisant dans une association qui leur permettait aussi de réclamer l'aide de l'État. Pour donner plus d'intérêt à l'initiative, ils ont choisi l'*imam* de l'oasis comme responsable dans l'association. Au début, ils ont commencé par la cotisation d'argent en fonction des parts d'eau dans la foggara. Avec une cotisation d'un montant de 1500 DA pour les parts de dix unités (*habba*) et plus et 1000 DA pour les parts de moins de dix unités, le contrôle réalisé sur la foggara leur a montré que l'argent cotisée est loin d'être suffisante aux travaux nécessaires. Ainsi, ils ont opté pour une proposition financièrement plus rassurante à long terme. Tous les habitants de l'oasis avaient le droit de contribuer au financement des travaux et auront par la suite une part de l'eau qui arrive en surplus par rapport à l'ancien débit de la foggara. Selon les mots de l'*imam* « *pour encourager cette opération, nous ne l'avions pas donné un caractère économique, mais plutôt solidaire. Nous avons dit que cela peut générer un bénéfice économique pour les participants en cas de surplus en eau, sinon le dieu leur récompense leurs contributions au sauvegarde d'un bien public qui est la seule ressource pour certaines familles pauvres* ».

La contribution pour avoir une part d'eau a été limité à 2000 DA par part d'eau et par mois et jusqu'au la fin des travaux d'entretien. Cela veut dire que les anciens propriétaires ne sont pas obligés de contribuer, mais ils peuvent le faire pour avoir plus d'eau. Ainsi, 82 familles ont décidé de participer à la cotisation mensuelle selon la capacité de chacune, dont 79 familles

déjà propriétaires et trois nouvelles familles. La cotisation mensuelle et les travaux d'entretien ont commencé en novembre 2016. Les participants ont été organisés en trois groupes, chacun avec un responsable qui assure la cotisation et transfère l'argent à l'imam qui s'occupe du paiement des ouvriers. Entre l'entretien des puits et des galeries, la réhabilitation des *seguias*, le désensablement et d'autres interventions nécessaires réalisés, les travaux ont duré 16 mois pour faire revenir l'eau au peigne de distribution en mars 2018 après 9 ans de tarissement. Le débit n'est pas encore satisfaisant, les travaux et la cotisation d'argent continuent pour l'augmenter. Le retour de l'eau était une fête célébrée par la population de l'oasis (photo 6).



Photo 6 : Célébration du retour de l'eau de la foggara de Tourfine après 9 ans d'absence dans l'oasis d'Aoulef (N. Tbeg, mars 2018).

Dans les différents exemples cités, les conditions sociales, économiques et environnementales ne sont pas toujours identiques. Les contraintes sont parfois dues aux reconfigurations sociales qui ne permettent plus de maintenir la participation des propriétaires aux travaux d'entretien. Certains propriétaires ont pu accéder au travail dans d'autres secteurs plus rentables, d'autres sont moins intéressés par leurs parcelles à cause des morcèlements successifs et le statut d'indivision qui réduit la taille des parcelles et exige le maintien de la propriété collective entre plusieurs générations de la famille (Otmane & Bendjelid, 2018). Dans d'autres cas, les conditions hydrogéologiques ne sont plus favorables à l'exploitation gravitaires de la nappe. Le retour aux foggaras, aux anciennes parcelles et l'adaptation des exploitations dans les nouveaux périmètres de mise en valeur aux savoir-faire locaux s'explique par le besoin des oasiens à des conditions qui leur permettent de s'affranchir de l'hostilité du climat à travers le maintien de l'action collective et du savoir-faire séculaire de

l'agriculture oasienne. Autrement dit, les nouvelles formes d'agriculture mise en place par l'État à travers les nouveaux périmètres de mise en valeur (*cf.* chapitre III) et l'ouverture des oasis sur d'autres secteurs d'activité ne peuvent suffire aux besoins des oasiens pour maintenir leur activité agricole et affranchir les différents risques liés à l'aridité du climat et à l'isolement géographique de la zone. Face aux coupures fréquentes, parfois de plusieurs jours, de l'électricité durant la période estivale par exemple, et l'incapacité des services de l'eau potable à pomper les besoins des oasiens, les foggaras sont encore la seule alternative pour s'alimenter même en eau domestique.

Le retour aux foggaras, à l'agriculture oasienne et la transformation de l'agriculture saharienne est accompagné par des ajustements dans les anciennes institutions ou par le façonnement de nouvelles institutions adaptées au nouveau contexte. Si les reconfigurations récentes ont largement amorti les inégalités entre les différents groupes sociaux, au moins en pratique, les propriétaires des foggaras s'adaptent à la nouvelle situation de manières différentes. Dans certains cas, comme dans l'oasis de Lahmeur (*cf.* chapitre II), les institutions ont été ajustées pour intégrer les anciens métayers qui détiennent un bon savoir-faire agricole et dans l'entretien des foggaras. La même stratégie nous l'avons vu aussi dans l'oasis de Tasfaout où les anciens métayers ont été intégrés en leur permettant de réaliser de nouvelles extensions aux foggaras et bénéficier de la moitié de la quantité d'eau captée. Dans d'autres cas, comme dans les oasis de Brinkene, Elouajda et Elbarka, ce sont les jeunes fils des propriétaires qui apprennent ce type de travaux et ils s'occupent eux-mêmes d'un minimum de tâches indispensables au maintien des foggaras. Cette flexibilité institutionnelle est le point fort qui permet la durabilité des foggaras et de l'agriculture oasienne dans le Touat, Gourara et Tidikelt.

Face aux institutions de l'État, présent par ses différentes administrations, et aux nouvelles opportunités de travail, l'application des règles de la même manière semble difficile. Pour certaines sanctions par exemple, les propriétaires ne sont plus capables de les appliquer sur les membres qui ne respectent pas les règles de gestion. Pour cela, la gestion se fait plus d'une manière solidaire en mobilisant les différentes structures et personnalités de l'oasis. Ils ont investi dans leur attachement à la religion pour faire monter des valeurs de respects, ils ont même attribué le statut de sacré à la foggara dont tout comportement nuisant est un péché et engendre la colère du seigneur.

7. Discussion et conclusion

Après plusieurs décennies de dominance d'un discours peu optimiste sur l'avenir des foggaras dans le Touat, Gourara et Tidikelt, il est évident que la situation du système oasien aujourd'hui montre une mécompréhension des originalités de ce système et d'une sous-estimation des capacités et des savoirs locaux. Les stratégies des oasiens et leurs pratiques visent principalement le maintien de leur activité agricole en s'adaptant aux différentes mutations sociales, économiques et environnementale. Cette capacité d'adaptation réside surtout dans la flexibilité des institutions qui permettent l'ajustement du système et le maintien de son fonctionnement dans les conditions les plus hostiles.

La lecture du système de foggara à la lumière des huit principes de gestion proposés par Ostrom (1990; 1993a) nous a permis de montrer leur intérêt pour dévoiler le rôle primordial des institutions dans le maintien des foggaras et du système oasien en général.

Cette analyse nous a permis de révéler les points forts de ce système qui maintiennent sa durabilité et sa capacité de s'affranchir des différentes contraintes liées aux transformations sociales, économiques et environnementales récentes à savoir :

1)- La conception d'un système de gestion (organisation et institutions) qui permet de distribuer l'eau en continu entre tous les propriétaires de la foggara quelque soit leur nombre. Cela permet d'un côté de répondre aux besoins de l'agriculture dans ce milieu qui ne donne pas le choix pour un partage par tour d'eau en raison de l'hostilité du climat et des débits restreints des foggaras et, d'autre côté, cela réduit les situations de conflit et les coûts nécessaires au contrôle car ce système ne demande pas de désigner un responsable/aiguadier pour gérer les tours d'eau. En parallèle ce système est accompagné par des institutions informelles qui ont bien montré leur efficacité dans le respect des règles de gestion par les oasiens et la résolution des conflits avec un minimum de coût et sans pour autant utiliser un système de sanction comme moyen de dissuasion.

2)- La mise en place d'une infrastructure de partage (dispositif technique) ingénieuse que nous pouvons qualifier comme nœud névralgique du système de foggara « la *kasria* ». Elle permet de mettre en pratique le principe de distribution de l'eau en continu, sans faire de tours d'eau, et rendre le partage visible à tous les oasiens et, par conséquent, éviter toute ambiguïté et conflit et limiter la nécessité d'un aiguadier. Les pratiques actuelles des oasiens face aux différents changements qui ont eu lieu sur le système de foggara (bétonnage des conduites,

renforcement par puits ou forage, redéfinition des parts d'eau, ...etc) montrent qu'ils sont conscients de l'importance de la *kasria* dans le maintien du système : dans tous les cas visités sur le terrain la *ksaria* est toujours maintenue dans son ancienne forme habituelle et laissée à ciel ouvert.

3)- l'engagement de toute la communauté dans le bien-être de la foggara qui occupe non seulement l'intérêt des propriétaires, mais de l'ensemble de la population de l'oasis. Durant des siècles, les foggaras qui passent à côté des *ksour* (pluriel du *ksar* – village) étaient souvent l'unique ressource pour les besoins en eau domestiques pour les habitants du *ksar* sans distinction. Ainsi, et en contrepartie, en cas de nécessité -un grand effondrement par exemple- tout le monde participe aux travaux qui peuvent durer plusieurs jours, à savoir plusieurs semaines. Cet engagement renforce les valeurs de solidarité, traduites en action collective, entre les oasiens qui n'hésitent pas à les montrer dans d'autres situations difficiles de leur vie quotidienne.

En synthèse de nos résultats issues de l'analyse du système de foggara à la lumière des huit principes de gestion proposés par d'Ostrom, la durabilité de ce système peut être expliquée par deux éléments essentiels : a)- la conception d'une infrastructure physique adaptée et adaptative au contexte physique local (topographie, hydrogéologie et climat) et b)- le développement d'une base institutionnelle forte (organisation sociale, valeurs de solidarité et règles de gestion) et adéquate à la gestion de l'infrastructure physique sans pour autant négliger sa flexibilité qui permet l'ajustement du système dans les situations difficiles.

Enfin, les huit principes de gestion des communs ne doivent pas être pris comme une recette magique qui permet un jugement absolu sur la durabilité des systèmes de gestion des ressources communes, mais plutôt comme un moyen d'encouragement vers un regard plus proche sur les institutions. Cette nouvelle lecture des principes proposés par Ostrom nous semble plus pertinente lorsqu'on regarde le système en parallèle avec les institutions mise en place et leur efficacité durant les moments les plus difficiles du système.

Historiquement, la foggara n'était pas toujours à l'abri des modifications et des conflits issus des désaccords sur sa gestion. Elle faisait partie de l'oasis qui « *révèle une évolution qui est poursuivie au cours des âges ... résultant de contraintes opposées est une œuvre de vie dans le désert, une lutte de l'homme contre un environnement hostile* » (Bensidoun, 1970). Par l'analyse de plusieurs exemples de terrain, nous avons montré que la notion de préservation des foggaras aujourd'hui ne doit pas être réduite à la réhabilitation de l'infrastructure

hydraulique. Cette dernière approche matérielle a montré ses limites malgré les grands moyens consacrés à la réhabilitation et l'entretien des foggaras. Récemment, plusieurs foggaras dégradées, et parfois même abandonnées, ont été retravaillées par leurs propriétaires, parfois accompagnés par l'aide de l'État. Ainsi, le maintien de ce système nécessite un nouveau regard du rôle des institutions locales qui incitent et accompagnent le retour à l'action collective. On parle de foggara tant que ce système garde encore ses originalités sociales et institutionnelles, qui permettent le maintien de l'activité agricole oasienne avec laquelle les autochtones ont pu occuper ce milieu au cours de plusieurs siècles.

Chapitre II:

Monument historique ou système bien vivant ? Les *foggaras* des oasis du Touat et leur réalimentation en eau par pompage

Pour démontrer l'importance des institutions et analyser les ajustements entrepris par les propriétaires des *foggaras*, nous présentons dans ce chapitre un cas d'étude qui représente la capacité d'adaptation des oasiens afin de maintenir l'agriculture paysanne. Face aux transformations socioéconomiques et hydrogéologiques, Les oasiens de Lahmeur dans le Touat ont pu maintenir le fonctionnement de cinq *foggaras* de l'oasis à travers des ajustements par : 1)- inclure de nouveaux ayant-droits (anciens métayers) ; 2)- faire évoluer les règles de gestion (par exemple, le transfert de la propriété de l'eau entre les paysans doit passer par l'association des *foggaras*) et maintenir le rôle du maître de l'eau pour donner une certaine légitimité au nouveau construit ; 3)- adapter le dispositif hydraulique qui ressemble le forage comme une nouvelle infrastructure de captage avec l'ancien réseau de *seguias* et *kasriyas* pour le partage. Par la revivification de cinq *foggaras* par un forage destiné au début à la réalimentation de deux *foggaras* seulement, nous démontrons également dans ce cas d'étude l'importance de l'action collective et des valeurs de solidarité développée dans ce système.

1. Introduction

Le Sahara algérien fait l'objet depuis cinq décennies de programmes de développement agricole qui visent la sécurité alimentaire du pays et l'amélioration des conditions de vie de la population. Ces multiples programmes ont engendré une transformation profonde du système oasien, allant de son organisation sociale à sa configuration spatiale (Bellal *et al.*, 2016) . Aujourd'hui, l'orientation qui consiste à multiplier les programmes de développement à travers des périmètres de mise en valeur agricole dans le Sahara continue à occuper une place importante dans les discours et les programmes publics, et cela en dépit des résultats mitigés sur les plans économique, social et environnemental (Otmane & Kouzmine, 2013) .

Dans les régions de Touat, Gourara et Tidikelt, qui font partie de la circonscription administrative d'Adrar dans le sud-ouest de l'Algérie, la mise en place des nouveaux périmètres de mise en valeur, basés sur l'exploitation des eaux souterraines, est accompagnée par un discours sur le déclin des systèmes hydrauliques ancestraux que sont les *foggaras*. Une *foggara* est une galerie drainant le toit d'une nappe souterraine et conduisant par gravité l'eau vers des parcelles de cultures (Bisson, 2003). Ce système de captage et de partage de l'eau est retrouvé dans de nombreux pays depuis la Chine jusqu'au Maroc (El Faiz & Ruf, 2010) en passant par la péninsule Arabe et surtout l'Iran où la présence des *qanats* est attestée depuis plus de 2000 ans (Mostafaeipour, 2010). Dorénavant, ces systèmes hydrauliques cohabitent souvent avec des périmètres irrigués par pompage de l'eau souterraine. Ainsi, dans le Sahara algérien, la nouvelle situation agricole « *juxtapose sur courte distance les formes [agricoles] les plus modernes aux plus traditionnelles* » (Côte, 2002). L'exploitation de la nappe du Continental intercalaire dans les nouvelles extensions, souvent installées en amont de la zone de captage des *foggaras*, par des moyens de pompage puissants a conduit à des rabattements considérables du niveau piézométrique. Selon l'Agence nationale des ressources hydrauliques (ANRH), sur les 2000 *foggaras* inventoriées à Adrar en 2016, 1278 *foggaras* sont taries du fait des abaissements du niveau de la nappe. Selon la même agence, le reste des *foggaras* présente un manque d'entretien et le débit total capté par les *foggaras* à Adrar a ainsi diminué de 3,6 m³/s en 1960 à 1,8 m³/s en 2011.

Le discours décliniste portant sur les *foggaras* résulte d'abord d'une vision moderniste qui condamne les *foggaras* au nom de la productivité face à des modes de mise en valeur individualisés jugés plus efficaces (Bisson, 2003). Cependant, la vision du déclin des *foggaras* pour des raisons sociales et physiques est ancienne et précède la mise en place des

périmètres de mise en valeur : « *un peu partout, on note un déclin des débits d'eau, un abandon des jardins ; le nombre des 'foggaras mortes', qui ne fonctionnent plus depuis une époque récente, est encore une preuve de la désaffection pour une technique qui avait vivifié le désert* » (Papy, 1959). Cette vision a été reprise dans la littérature depuis une vingtaine d'années pour faire le lien causal explicite entre le déclin des *foggaras* et l'arrivée massive des ouvrages modernes d'exploitation des nappes, à la fois du fait de la concurrence sur la ressource en eau souterraine mais aussi de la facilité d'exploitation de l'eau souterraine réalisée par pompage (Dubost & Moguedet, 1998; Lightfoot, 1996b). Le problème n'est pas tant le tarissement des *foggaras* en lui-même, qui constitue une contrainte inhérente et bien documentée de ce dispositif hydraulique (Balland, 1992), que la rapidité avec laquelle les baisses des nappes interviennent laissant peu de temps aux Oasiens pour réagir. Il faut enfin évoquer le contexte spécifique de ces régions, où les réponses traditionnelles (ajout de galeries latérales, approfondissement de la galerie mère, construction d'une nouvelle *foggara*, relocalisation des parcelles plus bas pour pouvoir continuer à profiter de l'écoulement gravitaire) ne paraissent plus adaptées à la situation sociale et économique actuelle (Bendjelid *et al.*, 1999) .

Pourtant, les paysanneries de Touat, comme celles de Gourara et Tikidelt, continuent à montrer un « *réel dynamisme* », qui se manifeste, d'abord et surtout, dans les nouveaux périmètres de mise en valeur agricole en libérant les agriculteurs des « *contraintes topographiques* » et des « *pesanteurs sociales* » (Bisson, 2003). Les descendants des *harratins* (anciens *khammès* ou métayers au cinquième), catégorie sociale défavorisée possédant un savoir-faire reconnu dans les pratiques agricoles oasiennes et les travaux d'entretien des *foggaras* (Marouf, 2017), ont saisi l'occasion de l'installation des nouveaux périmètres afin de bénéficier des terres et des subventions de l'État pour équiper de nouveaux jardins et assurer des extensions dans les oasis (Côte, 2002). Toutefois, à côté des nouveaux périmètres, un dynamisme, parfois latent, est présent « *jusque dans les vieilles sociétés hydrauliques* » (Bisson, 2003). Les paysanneries, habituées à adapter continuellement leurs systèmes hydrauliques, se sont servies des nouvelles opportunités apportées par la « modernité » pour réinventer les *foggaras*. Par exemple, elles ont profité de l'arrivée des motopompes pour rénover la *foggara* : de nouvelles parcelles sont installées en amont et au-dessus des *foggaras*, ou alors les *foggaras* sont alimentées à partir d'eaux pompées (Bisson, 2003).

La recherche entreprise sur l'oasis de Lahmeur, vise à montrer, à travers une étude de cas, comment une société oasienne a pu retrouver et adapter un dispositif hydraulique « ancien » en adoptant un mode de fonctionnement qui intègre à la fois les opportunités du monde moderne et les pratiques techniques et sociales traditionnelles, ce qui a permis au système oasien de perdurer. Nous émettons l'hypothèse que le fonctionnement actuel des *foggaras* de Lahmeur garde des continuités et des traces importantes héritées de l'ancien système. Nous explorons ici une hypothèse formulée par Bisson (1992) qui postulait que la combinaison de la technique *foggarienne* traditionnelle avec des moyens d'exhaure modernes pouvait donner un nouvel élan aux *foggaras*. Nous supposons également que le nouveau système est une adaptation des communautés aux transformations dans la zone par des ajustements et le maintien de l'action collective, caractéristique principale de l'ancien système, et non pas un nouveau système coupé des expériences accumulées durant des siècles.

2. Méthodes

L'oasis de Lahmeur se situe dans le sud-ouest de l'Algérie dans la zone de Touat à 50 km au sud de la ville d'Adrar (figure 9). La zone est caractérisée par son climat hyperaride où les ressources en eau sont uniquement souterraines. L'agriculture est pratiquée en trois étages : palmier dattier, arbres fruitiers, céréales et légumes, ce qui permet d'assurer le microclimat nécessaire aux cultures fragiles, les légumes en particulier (tomates, aubergines, courgettes...). Lahmeur est le chef-lieu de la commune de Tammest qui regroupe 11 oasis. Sa palmeraie est d'une superficie d'environ 200 ha irrigués par les eaux captées par un forage mis en place en 1992, et réparties sur cinq *foggaras* tarées. Avec une profondeur de 150 m et un niveau statique de 30 m, le forage délivre un débit de 26 l/s.

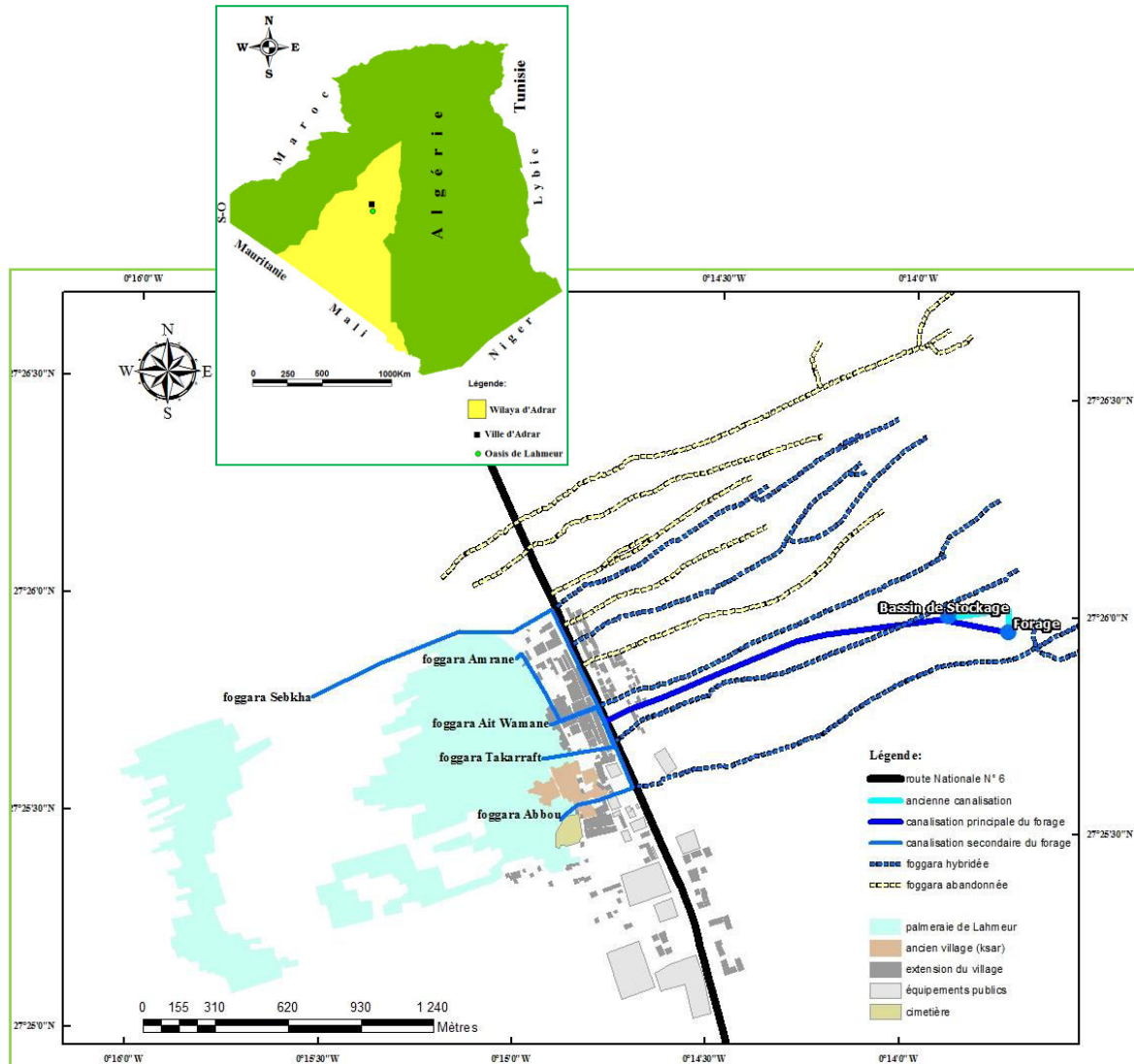


Figure 9 : Situation et organisation spatiale de l'oasis de Lahmeur (source : google-earth et enquête de terrain 2017)

Le choix de cette oasis a été fait après une enquête préliminaire réalisée en 2016 sur les oasis d'Adrar. Nous avons visité et interviewé des personnes ressources dans plus de 20 oasis réparties sur les régions de Touat, Gourara et Tidikelt. L'oasis de Lahmeur a été l'une des premières à avoir pu installer un forage pour alimenter le système de *foggaras*, au moment même où le programme de « renforcement » des *foggaras* par des forages rencontrait un refus généralisé dans les autres oasis. Enfin, c'est le plus ancien forage de renforcement que l'on ait trouvé encore en fonctionnement, 25 ans après son installation. Sur le terrain, nous avons identifié une dizaine de forages en fonctionnement et environ 20 autres en cours de réalisation. La réhabilitation des *foggaras* faisait partie des programmes nationaux de développement, comme le Programme national de développement agricole (PNDA) (Daoudi

et al., 2015). Aujourd'hui, ces opérations sont financées par les programmes sectoriels des services des ressources en eau et de l'agriculture d'Adrar.

Le présent article résulte surtout d'une 2^{ème} phase de terrain réalisée en 2017. Nous avons commencé par interviewer trois personnes ressources, le président de l'association des *foggaras*, son adjoint et un retraité, ancien délégué de la Direction des services agricoles de la commune de Tammest au moment de l'installation du forage. Au cours de l'enquête, nous avons visité 47 parcelles représentant environ 40 ha des 200 ha alimentés par les cinq *foggaras*. Nous avons relevé des données sur l'organisation spatiale, l'infrastructure hydraulique et l'organisation sociale et institutionnelle du nouveau système de captage et de distribution de l'eau. Nous avons analysé les documents écrits de l'association des *foggaras* : listes des propriétaires dans chaque *foggara*, documents de création de l'association, règlement intérieur de gestion. Les résultats ont été confrontés aux données recueillies par des entretiens semi-directifs auprès de 15 ayants droit dans l'eau du forage. Ces derniers ont été choisis en concertation avec les trois personnes ressources pour couvrir les différents cas d'accès à l'eau : neuf anciens propriétaires (dont quatre descendants des anciens *khammès*) et six nouveaux propriétaires ayant eu des droits d'eau après la mise en place du forage. Nous avons rencontré des difficultés pour identifier les différentes catégories sociales aujourd'hui actives dans l'oasis et disposant de droits d'eau, du fait des reconfigurations sociales et des susceptibilités que l'ancienne appartenance servile continue à poser dans le contexte oasien. Ce déficit d'information a été complété par l'analyse des documents déjà cités et des discussions avec certaines personnes ressources dans les oasis avoisinantes.

3. Résultats

3.1. Périmètres de mise en valeur agricole et réhabilitation des foggaras : des objectifs difficilement conciliables

Adrar était l'une des principales wilayas concernées par les programmes de développement agricole dans le Sahara algérien. L'opération « tomate d'Adrar » pour la mise en place « d'une culture extra-primeur et ... d'une filière intégrée (tomate / conserverie / marché extérieur) » fut, en effet, initiée dès le début des années 1970 (Sahli, 1997). Durant les années 1980, des périmètres de « petite » et de « grande » mise en valeur agricole ont été installés, dans le cadre de l'application de la loi de l'Accession à la propriété foncière agricole (APFA), et durant les années 2000 par le Plan national de développement agricole (PNDA). La petite mise en valeur agricole concerne des collectifs de paysans et de jeunes chômeurs locaux pour

des exploitations allant de 2 à 10 ha, et la grande mise en valeur concerne des surfaces allant de 100 à 5 000 ha au profit de notables locaux ou d'investisseurs venus d'ailleurs. Cependant, en 2005, moins de 5% des superficies attribuées à la grande mise en valeur ont été réellement mises en culture, montrant un grand décalage entre les ambitions et les réalisations de ces programmes (Otmane & Kouzmine, 2013).

À Lahmeur, un nouveau périmètre avait été installé à 2 km en amont de la zone de captage des *foggaras*. Les bénéficiaires appartenaient à l'oasis voisine de Tittaf. Les superficies des terrains exploités étaient de 1 à 4 ha pour la petite mise en valeur agricole et de 100 à 237 ha pour la grande mise en valeur agricole. À Lahmeur, deux des trois personnes ressources ont évoqué l'année 1989 pour désigner la date de début de tarissement des cinq *foggaras* de l'oasis. Les images satellites (Google-Earth) montrent que cette année correspond au début de l'exploitation du nouveau périmètre de mise en valeur agricole. Deux autres périmètres de grande mise en valeur agricole, de surface plus importante, ont été installés à 12 et 15 km, respectivement au nord-est et au sud-est des *foggaras*. Les images satellites montrent qu'ils ne sont entrés en exploitation qu'à partir de 1991.

Dans la wilaya d'Adrar, l'installation des nouveaux périmètres a eu un double effet. D'abord, l'impact a été ressenti en termes de baisse dans les débits des *foggaras*, en particulier au sein des exploitations proches des nouveaux périmètres, ce qui a provoqué des oppositions à l'installation de certains périmètres en amont des *foggaras*. Ensuite, les agriculteurs les plus dynamiques et qualifiés, en particulier les anciens *khammès* qui ont vu dans ces périmètres une voie d'émancipation par l'accès à l'eau et la terre, sont sortis de l'oasis. Les nouvelles lois et opportunités offertes par l'État diminuaient ainsi les marges de manœuvres des propriétaires de droits d'eau des *foggaras*, qui dépendaient d'une main d'œuvre bon marché. L'État a, en contrepartie, engagé de grandes opérations de réhabilitation et d'aménagement des *foggaras*. La Direction des ressources en eau a supervisé, par exemple, pour la période 2007-2014, la réhabilitation de 162 *foggaras* pour un montant équivalent à 13 millions d'euros. Ces opérations étaient souvent en décalage avec la réalité du terrain pour deux raisons. En premier lieu, du fait de l'abaissement du niveau de la nappe, qui diminue chaque année le nombre des *foggaras* actives. En second lieu, du fait de la raréfaction de la main-d'œuvre qualifiée pour l'entretien des *foggaras*. En définitive, dans le contexte d'un développement des nouveaux périmètres, si des adaptations et des améliorations des conditions sociales et techniques pour les irrigants n'étaient pas réalisées, le maintien du système, dans sa configuration ancienne, semblait être une tâche difficile.

3.2. D'une cause de déclin à une solution adoptée : réclamer le forage pour renforcer les foggaras

Pour les trois personnes ressources, les 2 km qui séparent le périmètre de mise en valeur agricole de leurs *foggaras* étaient suffisants pour limiter l'impact des pompes des forages sur les *foggaras*. En revanche, les habitants ont remarqué l'accélération du rabattement de la nappe et la diminution des débits des *foggaras* juste après l'exploitation d'un forage d'alimentation en eau potable à destination de plusieurs oasis de la commune, en 1992. Ils s'appuient sur l'augmentation notable des débits de certaines *foggaras* lors qu'une panne dans la pompe du forage est survenue durant la première année de sa mise en service. Ce constat a conduit les habitants de l'oasis à acheminer gratuitement l'eau potable pour irriguer leurs parcelles et à fermer les vannes qui alimentaient les autres oasis. Un interviewé justifie cette réaction en affirmant que « *cette eau appartient seulement à ceux qui ont été affectés par le forage* ». Cette stratégie fut appliquée malgré un total désaccord des responsables locaux qui devaient subvenir aux besoins en eau potable de la population dans les différentes oasis alimentées par le forage.

Dans ce climat de tension, et profitant de la visite en 1992 du chef du gouvernement algérien, les habitants de Lhameur ont manifesté sur la route nationale qui passe à côté de l'oasis. Celui-ci a alors chargé un comité de négocier une solution avec les représentants des manifestants qui réclamaient une amélioration de la situation de leurs *foggaras*. La solution adoptée fut l'installation d'un forage de « renforcement », en référence au programme officiel de réhabilitation des *foggaras*, ce qui a mis fin aux « *années de vaches maigres* » selon les termes du président de l'association des *foggaras*. Ce forage alimente encore l'oasis de Lahmeur, 25 ans après sa mise en service.

3.3. Des foggaras « hybrides » : intégration du forage, ajustements et continuités dans un nouveau système sociotechnique oasien

L'introduction du forage et l'alimentation des *foggaras* par une nouvelle ressource en eau ont été accompagnées de nombreux changements dans l'infrastructure d'irrigation et dans le fonctionnement de l'action collective et des institutions pour faire fonctionner les nouvelles *foggaras*, qu'on pourra qualifier « d'hybrides ». L'eau pompée du forage dans le canal principal est répartie à l'entrée de l'oasis en canaux secondaires dans les cinq *foggaras* ainsi renforcées. Les irrigants ont mobilisé plusieurs registres pour opérer ce changement et répondre aux nouveaux besoins et aux charges de fonctionnement : le traditionnel et le moderne, le social et l'économique, etc. Des négociations ont commencé une fois le projet

d'installation du forage par l'État acquis. Alors que ce forage était destiné à renforcer seulement deux *foggaras* de l'oasis, la communauté a décidé, pour exprimer sa solidarité, de répartir l'eau du forage entre les cinq *foggaras* de l'oasis de Lahmeur ayant subi l'effet des rabattements de nappe depuis 1989.

Le changement le plus fondamental a sans doute concerné la redéfinition des droits d'eau entre les protagonistes des différentes classes sociales. Le phénomène d'ascension sociale des anciens *khammès* a été largement observé dans la région, mais a souvent été décrit comme un processus lent et progressif pour que ceux-ci puissent accéder à la terre, puis à l'eau (Marouf, 2017). Dans notre cas, la redéfinition des droits d'eau, qui s'est opérée de façon accélérée, visait l'attribution d'une partie des droits d'eau aux anciens *khammès* qui ne possédaient pas de part d'eau dans l'ancien système de partage des ressources en eau. Ceux-ci avaient participé à la manifestation de 1992 et ont ainsi obtenu un droit d'entrée au statut de propriétaire de l'eau. Pour légitimer cette appropriation, la communauté a fait appel au traditionnel maître de l'eau (*kial el-ma* en arabe). Chaque propriétaire a estimé ses besoins en eau. Après le jaugeage du débit du forage, le maître de l'eau a jugé que la demande était supérieure au débit réel. Cette contrainte a été réglée par l'application des anciennes règles de la *foggara*, qui stipulent que toute modification naturelle des débits d'eau doit être partagée entre l'ensemble des propriétaires en quantités proportionnelles à leurs parts de départ. L'association a aussi introduit des règles pour permettre la réallocation des droits d'eau en cas de besoin. Les propriétaires qui éprouvent des difficultés à répondre aux charges de gestion du forage, ou qui veulent même abandonner leurs parcelles, ont la possibilité de diminuer leur part au profit d'un autre propriétaire qui voudrait augmenter la sienne ou d'un nouveau propriétaire qui voudrait accéder à l'eau du forage. Dans ce cas, l'association des *foggaras* récupère la part d'eau pour la remettre à un autre agriculteur selon l'ordre chronologique des demandes faites à l'association. Dans la *foggara* d'Abbou, par exemple, les documents de l'association montrent que l'on dénombrait 27 propriétaires de droits d'eau en 2004, alors que nos observations de terrain montrent l'existence de 37 parts en 2017. La communauté a aussi maintenu l'utilisation du bassin doté d'ouvertures proportionnelles aux parts des propriétaires (le peigne ou *kesria*). La motivation exprimée par les personnes ressources était de rendre visible le partage de l'eau afin d'éviter les conflits en cas de changement des parts d'eau.

L'autre changement fondamental concernait l'accès à la terre. Pour les nouveaux propriétaires de parts d'eau qui n'avaient pas de parcelles à exploiter, un nouveau mode de faire-valoir a été adopté, plus avantageux que celui qui s'appliquait pour les anciens *khammès*, où ceux-ci

ne recevaient que le cinquième de la récolte. Les nouveaux contrats concernent souvent des terrains appartenant à la *zawiya* (école coranique, faisant office d'autorité culturelle et religieuse locale) ou à la mosquée (biens *habûs* ou *wakf*), mais parfois aussi des parcelles abandonnées par leurs propriétaires pour diverses raisons. Le *kharrâs* (fermier et non plus le *khammès-métayer*, cf. (Marouf, 2017)) assure l'entretien des palmiers ou leur plantation dans les nouvelles parcelles. Le propriétaire de la terre récupère la récolte de dattes, tandis que le reste des cultures revient au *kharrâs*, qui paye les charges de la part d'eau qui lui appartient. Les anciens propriétaires de l'eau et de la terre (*chorfa*, *mrabtine* - noblesse religieuse et arabe) privilégiaient traditionnellement de garder les parcelles les plus proches du *ksar* (l'ancien village) et allouaient le reste dans le cadre de contrats de métayage. En comparant le nombre de propriétaires, issus de la classe sociale des anciens *khammès*, dans chaque *foggara* par rapport au nombre total de propriétaires, nous avons pu vérifier que cela est toujours le cas aujourd'hui. Ainsi, en 2004, les anciens *khammès* représentaient 7 des 27 propriétaires (26 %) dans la *foggara* Abbou qui traverse l'ancien village, 20 des 33 propriétaires (61%) dans la *foggara* de Takarraft qui est juste à côté de la première, 25 des 36 propriétaires (69 %) dans la *foggara* d'Ait Waman, 24 des 31 propriétaires (77 %) dans la *foggara* d'Amrane et 17 des 20 propriétaires (85 %) dans la *foggara* de Sebkhah, qui irrigue les parcelles les plus éloignées du village.

L'hybridation des infrastructures de captage et de partage, ainsi que celle des institutions, se sont conjuguées à une hybridation organisationnelle (figure 10). Une association agréée par l'État a été mise en place en 1998, six ans après la première exploitation du forage. Proposée par l'administration locale, son objectif était l'adaptation des institutions informelles et communautaires aux organisations formelles de l'État, dans l'objectif de faciliter les différentes démarches administratives et éviter les conflits de gestion du forage. Son bureau a été constitué des représentants des cinq *foggaras*. Il convient de noter que, durant les quatre premières années qui ont suivi la mise en place de l'association, des problèmes de gestion étaient récurrents. Les habitants, habitués à gérer chaque *foggara* à part, trouvaient des difficultés à intégrer la nouvelle organisation nécessaire pour gérer le forage (entretien, partage des frais d'énergie etc.). Pour cela, un dernier ajustement a eu lieu en 2002, par la mise en place d'un règlement intérieur de gestion du forage. Ce dernier, comme indiqué dans sa préface, « ... vient sur la demande de l'assemblée générale de l'association des *foggaras* de Lahmeur après les multitudes de problèmes rencontrés dans la gestion du forage ... ». Il décrit de manière détaillée la gestion des conflits, l'attribution des droits d'eau et la gestion du

forage. Le forage fut considéré dans le règlement intérieur mis en place comme propriété de l'État, avec une possibilité d'accès pour tous les habitants de l'oasis, sans distinction.

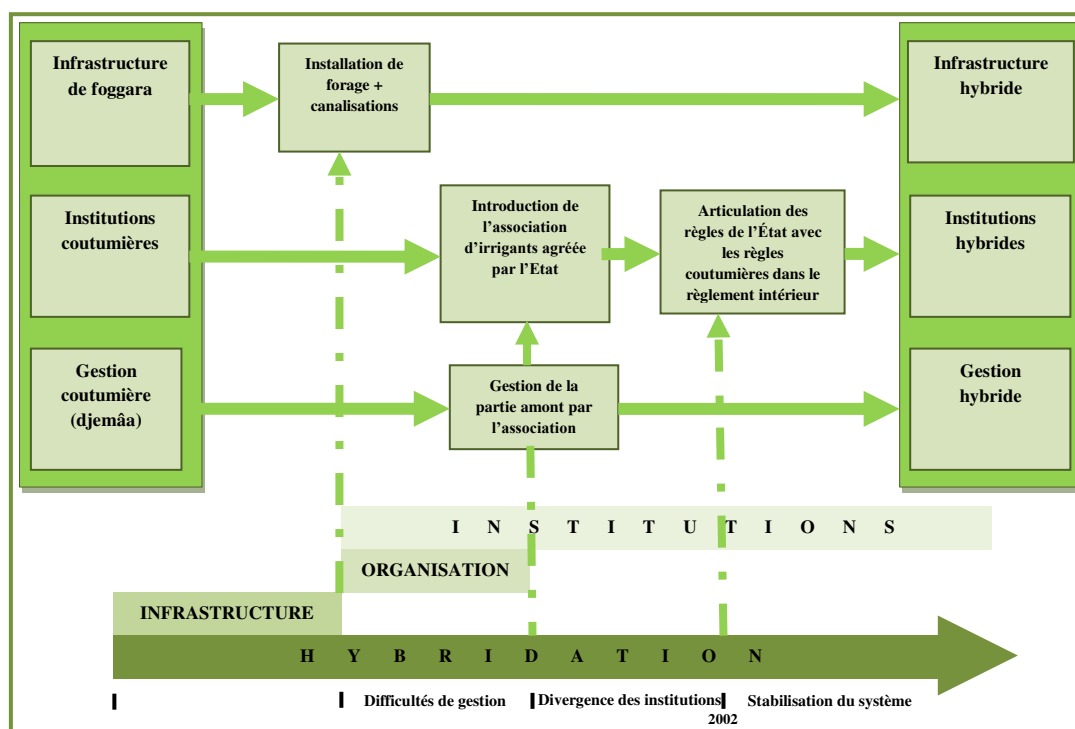


Figure 10 : Processus d'hybridation des foggaras de l'oasis de Lahmeur

L'ensemble constitué du forage, des canalisations principales, des bassins de distribution principaux et secondaires, et des seguias, a été réparti en deux sous-ensembles (figure 11). En amont, le forage et les canalisations principales jusqu'aux cinq bassins principaux, sont sous l'autorité de l'association des *foggaras*. Cette dernière s'occupe de la gestion du forage et veille à ce que les travaux d'entretien et la récupération des charges soient faits soigneusement. Elle assure le contrôle et le bon partage de l'eau entre les cinq *foggaras* et fait des ajustements en cas de changement dans le débit du forage. La contribution des propriétaires aux charges de gestion du forage est proportionnelle à leurs parts d'eau. Les irrigants ont souligné un rabattement de la nappe qui continue et qui occasionne des frais d'énergie toujours plus élevés. En aval, chaque bassin de partage principal, ses bassins secondaires et le réseau de distribution secondaire sont gérés par les groupes de propriétaires d'une manière coutumière.

L'analyse des documents et des données de terrain a révélé une recomposition sociale autour des *foggaras* de Lahmeur. Les membres de la tribu qui dominent aujourd'hui l'association étaient, dans l'ancien système social, classés dans la catégorie des métayers ou étaient considérés comme tels par les autres habitants de l'oasis. Ces personnes ne le reconnaissent

toutefois pas, affirmant que leurs origines sont arabes, et qu'ils sont installés dans la zone depuis des siècles, comme en témoigne selon eux leur nom (Draoui) dérivé de l'appellation d'une zone du Maroc (Drâa). Par leur engagement au service de la gestion du forage et les différentes initiatives volontaires qu'ils organisent, ils ont conquis une nouvelle position et assuré leur « ascension sociale ». Cela se traduit dans le nombre et l'importance des parts d'eau de ces personnes, qui possédaient 23 des 140 parts d'eau en 2004, l'année durant laquelle ont été mises à jour les listes des propriétaires dans les cinq *foggaras*, contre moins de 10 parts d'eau avant l'installation du forage.

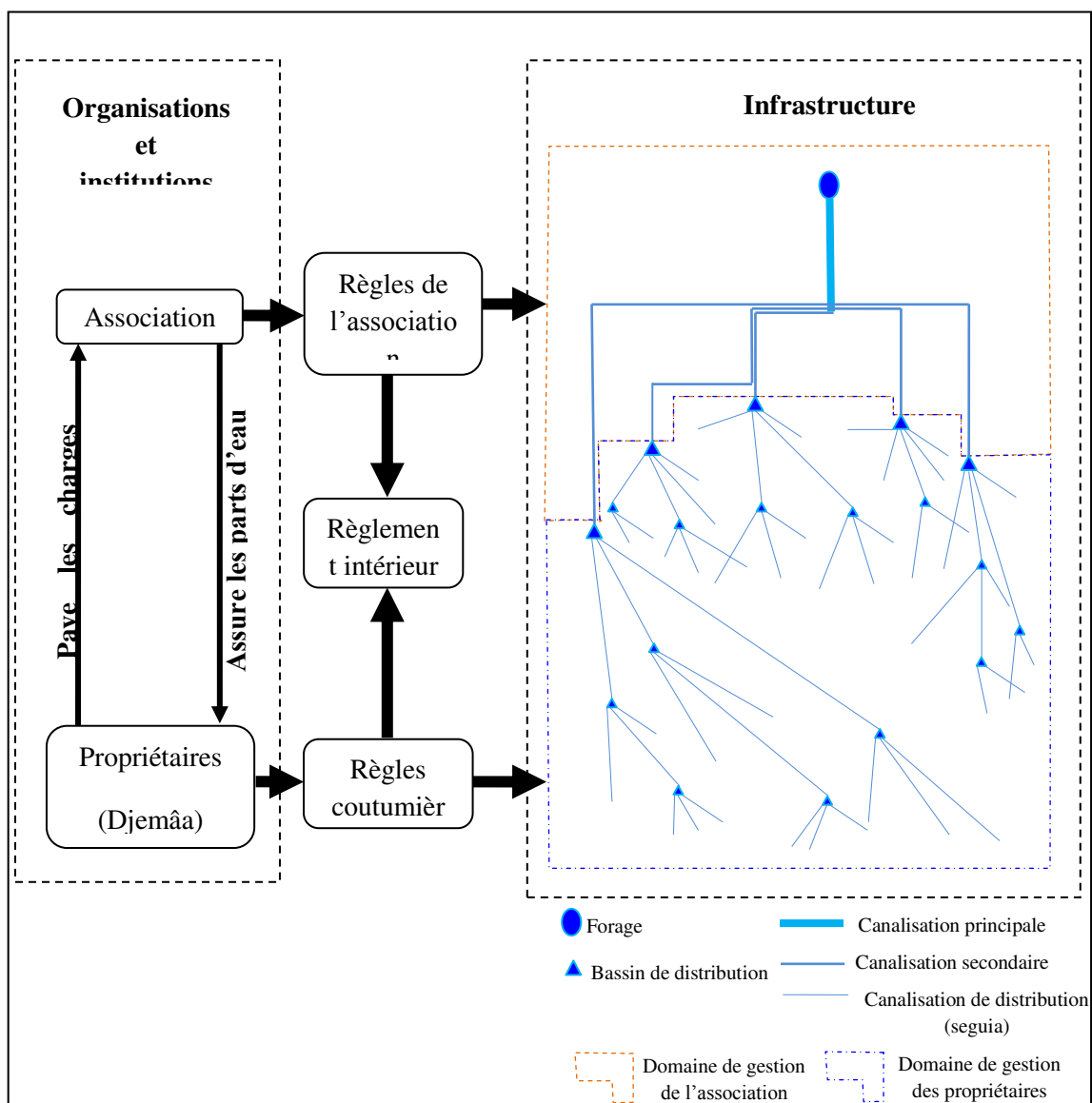


Figure 11 : Schéma synoptique des foggaras hybrides : organisation, institutions et gestion

À l'exception de quelques adaptations, les anciennes pratiques agricoles semblent peu évoluer. Dans les 47 parcelles visitées, le maraichage, les céréales et les fourrages sont cultivés sous le palmier dattier (deux étages), et parfois sous des arbres fruitiers ou du henné (trois étages). L'association des cultures reste une pratique très répandue et justifiée par le besoin d'avoir une diversité de produits sur des jardins de surface limitée ainsi que pour créer des conditions d'ombrage favorables pour certaines cultures, particulièrement en été. La plus grande partie des produits est destinée à l'autoconsommation et le reste aux marchés locaux, à l'exception des dattes et du tabac. La culture du tabac s'étend dans les oasis avoisinantes en raison de l'augmentation de la demande à destination des pays du Sud, le Mali et le Niger en particulier. Son prix est attractif, à plus de 7 €/kg, contre moins de 1 €/kg pour les dattes. Les 15 enquêtés disent être autosuffisants en produits agricoles, sauf pour les céréales, sur la période allant de janvier à mai ; pour le reste de l'année, une partie importante de l'alimentation provient du marché. Les conditions techniques de travail n'ont pas changé, l'irrigation se fait par submersion et le sol est régulièrement enrichi par des apports de fumier (5 à 13 têtes d'ovins et caprins par exploitation). Outre cette activité agricole, qui est souvent une charge attribuée aux personnes âgées et aux femmes, peu concernées par le travail salarial, les membres des familles ont souvent d'autres activités professionnelles. Les jeunes sont attirés par le travail dans les sociétés pétrolières, qui leur assurent de bons salaires, et/ou dans les services de sécurité qui offrent, même avec un niveau d'éducation modeste, des postes de travail permanents. Dans les 15 familles, nous avons recensé 38 jeunes dont 32 fonctionnaires surtout actifs dans les sociétés pétrolières (11) et dans les services de sécurité (7). Une partie de leurs revenus est consacrée à l'amélioration des parcelles et au paiement des charges du forage, qu'ils considèrent indispensable au maintien de leur activité agricole.

4. Discussion et conclusion

À travers l'analyse des évolutions qui ont marqué le système des *foggaras* de Lahmeur, une nouvelle interprétation peut être formulée sur les changements opérés dans les oasis de Touat, Gourara et Tidikelt. Ce qui est qualifié jusqu'à présent dans la littérature (Bellal *et al.*, 2016; Bendjelid *et al.*, 1999; Remini et Achour, 2016), et même dans une bonne partie des discours au niveau local, comme rupture, déclin, bouleversement et fragilisation de l'équilibre oasien ancestral, masque parfois l'émergence de nouveaux modes de fonctionnement affectant les anciennes oasis. Les modifications apportées sont des adaptations avec de nombreuses continuités dans les savoirs et les expériences hérités du système oasien séculaire.

L'étude de cas de l'oasis de Lahmeur montre l'existence d'une nouvelle dynamique dans la gestion des *foggaras*, confirmant ainsi l'hypothèse de Bisson (1992). Paradoxalement, les fortes baisses de la nappe, le déclin des *foggaras*, et la disponibilité des moyens modernes d'exhaure, ont conduit les paysanneries à inventer de nouvelles *foggaras*. Par les ajustements apportés, celles-ci ont montré une forte capacité d'adaptation à l'environnement et au nouveau contexte socioéconomique. La communauté a d'abord opéré des changements dans les droits d'accès à l'eau et à la terre afin d'éviter le départ des anciens *khammès*, agriculteurs dynamiques détenteurs de savoirs. Ensuite, des ajustements ont été apportés à l'infrastructure hydraulique et aux institutions qui gouvernent la gestion de l'eau. L'hybridation des eaux par le forage permet un nouveau mode d'alimentation dans la zone, pour faire face au rabattement de la nappe. Par une contribution aux charges de gestion des membres de l'association, le forage a permis de faire face au manque d'entretien des *foggaras* de la zone. Dans d'autres oasis visitées, les ajustements étaient sensiblement différents. À 10 km de Lahmeur, dans l'oasis de Tittaf par exemple, un forage de renforcement est exploité en parallèle de la *foggara*, par un réseau de distribution indépendant. Dans ce cas, la remise à plat de l'ensemble des droits d'eau n'a pas eu lieu et les propriétaires de la *foggara* se sont opposés à son renforcement par le forage. Le choix d'un réseau parallèle était une adaptation à des contraintes spécifiques à l'oasis. La première raison fut la topographie qui ne permettait pas, en cas d'intégration du forage à la *foggara*, l'irrigation des parcelles des nouveaux propriétaires en amont. La deuxième raison était que la *foggara* apportait encore des volumes d'eau non négligeables et que les propriétaires des grandes parts d'eau de la *foggara* n'acceptaient pas de redéfinir les parts d'eau.

Le cas d'étude met en avant certaines pratiques héritées de l'ancien système. L'action collective reste encore au centre de la dynamique de l'oasis comme dans d'autres systèmes de gestion des ressources communes, en particulier dans les environnements hostiles. Le fonctionnement actuel plus ou moins stable des cinq *foggaras* hybrides résulte d'une évolution emblématique dans l'organisation et les règles de gestion du système. A travers un mélange savant de gestion coutumière et « moderne » de l'infrastructure hybride, les membres du groupe ont façonné les institutions. Ils ont créé le chaînon manquant en adoptant un règlement intérieur dont le contenu a été élaboré pour gérer cette infrastructure hybride. L'organisation mise en place reproduit l'un des principes de conception de la gestion des communs proposés par Ostrom (1990). Il s'agit de l'imbrication du système en couches

horizontales et verticales ; soit, dans notre cas d'étude, entre les cinq *foggaras* et entre l'ensemble des *foggaras* et l'association.

A la lumière de notre étude, la problématique de durabilité des systèmes de *foggaras* peut se résumer aux deux composantes suivantes :

La première est l'importance à accorder à la réflexion et à l'action dans les programmes de développement, pour accompagner l'évolution des *foggaras* en parallèle avec les transformations sociales, économiques et environnementales, et ce en coordination avec les Oasiens. Les *foggaras* sont encore vues comme des systèmes non évolutifs qu'il s'agit de réhabiliter. Une nouvelle vision de ce que peut être une *foggara* aujourd'hui, i.e. un système bien vivant, serait nécessaire pour réussir ces programmes de développement (Bisson, 1992).

La deuxième est la capacité des Oasiens à s'adapter aux transformations dans leur environnement physique et socioéconomique. Cette capacité sera confrontée aux inégalités d'accès à l'eau souterraine par rapport aux périmètres de mise en valeur agricole, et à la désaffection des jeunes vis-à-vis du travail agricole, car ils sont de plus en plus séduits par les activités salariales en dehors des ksour (pluriel de ksar) et des oasis traditionnelles.

Chapitre III :

L'agriculture saharienne à Adrar entre planification et réalité du terrain : un nouveau modèle agricole ou le renouveau de l'agriculture paysanne ?

L'activité agricole dans les oasis de Touat, Gourara et Tidikelt était intimement liée au système de foggara qui assure l'eau d'irrigation et le maintien de l'agriculture oasienne au cours des siècles. Ce rôle des foggaras a été largement marginalisé dans les programmes de développement agricole qui se déroulaient en dehors des oasis existantes et suivant un autre modèle qui vise la production comme objectif principal. Après environ 40 ans du lancement de ces programmes, les différents travaux de recherche montrent des bilans encore mitigés. Dans ce chapitre, nous formulons l'hypothèse que l'agriculture saharienne dans une zone à conditions hostiles, comme celle de Touat, Gourara et Tidikelt, ne peut réussir sans intégrer les logiques et les pratiques séculaires que les oasiens ont développés afin de surmonter l'aridité (action collective, solidarité, stratification de cultures, diversification de revenus, ...). Par l'analyse de quelques exemples de terrain, nous montrons que les oasiens ont bien adapté leurs anciennes pratiques et stratégies tout en profitant des techniques de travail et d'exploitation *modernes*. Cela a permis d'un côté de sauver l'agriculture dans les nouveaux périmètres de mise en valeur, et d'autre côté de maintenir l'agriculture oasienne par

l'introduction de nouvelles techniques arrivées avec les programmes de développement.

1. Introduction :

À l'aube de l'indépendance et dans le cadre de la construction de l'État-nation, l'Algérie a entamé une politique d'intégration des territoires de sud. Cette orientation a pris une place stratégique primordiale dans la vision des décideurs algériens à l'époque, incités par l'instabilité géopolitique issue des désaccords sur les frontières avec les pays voisins, le Maroc en particulier (Heggoy, 1970; Méric, 1965). L'importance d'intégrer le Sahara résulte aussi de l'immensité de ses territoires sur lesquels de grandes découvertes minières ont été réalisées à l'époque. Ainsi, plusieurs interventions ont eu lieu pour désenclaver cet espace « *afin de réduire les disparités interrégionales exacerbées issues de la période coloniale* » (Kouzmine & al., 2009).

Pour atteindre son objectif, l'État a entamé de multitudes projets de développement qui se manifestent surtout par a)- des nouveaux découpages administratifs au niveau national qui résultent de la « *nécessité de la gestion de l'espace et en particulier à la mise en place d'un maillage à but géostratégique évident : densification des points d'appui urbains majeurs et quadrillage du territoire, au niveau le plus fin possible* », dont plusieurs oasis ont été promues aux rang de chef-lieu de communes, daïras et wilaya ; b)- des programmes de développement dans les différents secteurs, particulièrement en agriculture. Ces derniers visent la mise en place de nouveaux périmètres de mise en valeur à côté des anciennes oasis. Cette agriculture avait comme objectif, en plus de désenclavement et l'intégration de la zone au territoire national et l'amélioration des conditions de vie de la population locale, de participer à la sécurité alimentaire du pays considéré par les décideurs comme élément essentiel de la souveraineté nationale. Plusieurs programmes de développement agricole ont été initiés par l'État au nord du pays au début et, par la suite, orientés vers les zones steppiques et sahariennes.

Contrairement à l'agriculture pluviale et irriguée par les eaux de surface au nord, cette nouvelle orientation vers les espaces désertique était focalisée sur le développement d'une agriculture saharienne basée principalement sur l'exploitation des nappes d'eau souterraines de grande taille mais assez fragiles car peu renouvelables. Selon Côte (2002), cette orientation a permis « *le renouveau de l'agriculture saharienne* » qui était en crise après le recul du commerce caravanier transsaharien. Dans ce chapitre, nous appelons par agriculture saharienne cette agriculture menée sur les extensions des anciennes oasis, sur de grandes

surfaces et basée sur l'exploitation individuelle des eaux souterraines, dont les objectifs sont principalement d'ordre économique. Nous la distinguons ici de *l'agriculture oasienne* pratiquée par les paysans dans les mêmes conditions physiques, sur des superficies moins importantes avec des finalités sociales et d'autres économiques. L'agriculture oasienne se caractérise par ses pratiques agricoles comme les cultures étagées et l'association des cultures. Elle est destinée à l'autosubsistance et la vente d'une partie de la production. Les pratiques de cette agriculture paysannes permettent aussi l'exploitation rationnelle des sols qui sont transmis entre les différentes générations et au cours des siècles (fertilisation naturelle, amélioration de la texture, ...).

La première intervention remarquable de l'État dans le secteur agricole sur les territoires saharien était dans le cadre de la réforme agraire d'inspiration socialiste de 1971 dont le célèbre slogan « *la terre appartient à ceux qui la travaillent* ». « *La nationalisation des terres auparavant exploitées par les colons, constitue donc la première et principale action en faveur des masses paysannes, dans l'esprit de la doctrine. Pour empêcher le renforcement de la bourgeoisie agraire, ces terres doivent être travaillées collectivement par les anciens salariés des colons, les paysans sans terre et les petits paysans* » (Bedrani, 1987). Dans les oasis de Touat, Gourara et Tidikelt, cette réforme voulait supprimer les contrats de travail existant entre les propriétaires terriens et leur *khammès*. Dans certaines oasis, des parcelles dont les propriétaires étaient absents, ou ayant plusieurs parcelles dans l'oasis, ont été attribuées à d'autres personnes sans propriété. La situation n'a pas duré à cause d'une méconnaissance du système oasien par les décideurs à l'époque¹⁷ et la dominance des institutions locales qui rendaient difficile ce transfert de propriété entre les habitants de ces oasis (cf. chapitre I).

Avec les résultats mitigés de la réforme agraire des années 1970, l'État a changé complètement son orientation, à partir des années 1980, en adoptant un modèle d'inspiration libérale qui permet de libérer la terre pour l'initiative privée et publique, et cela à travers l'application de la loi 83-18 portant l'Accession à la Propriété Foncière agricole (APFA), le Programme National de Développement Agricole (PNDA) et d'autres programmes de concession agricole. Selon Bendjelid *et al.* (2004), les décideurs « *se sont ... référés aux grands mythes fondateurs : l'eau, la terre, la vision pionnière* » pour faire du Sahara l'image d'un réservoir d'eau « *inépuisable, exploitable indéfiniment et sans mesure* ». Les ambitions

¹⁷ Dans certains cas, par exemple, seulement la parcelle, sans droit d'eau, a été attribuée à une autre personne en pensant que la part d'eau de la foggara était mariée à la terre.

étaient, paradoxalement, « *de suppléer les carences de l'agriculture du nord du pays par celle du Sahara* » (Côte, 2002) par la mise en place d'une agriculture basée sur l'exploitation des eaux souterraines peu ou non renouvelables. Deux types d'agricultures ont été initiées sur les trois parties de la wilaya d'Adrar : un premier type destinée à la grande production des céréales, irrigué par grand pivot, inspiré du modèle appliqué en Californie et en Arabie Saoudite (Côte, 2002; Otmane, 2010), et le deuxième destiné aux petits agriculteurs sur des superficies limitées afin de diversifier la production agricole d'une part, et d'autre part intégrer la population locale et amortir les inégalités d'accès à l'eau et les disparités socioéconomiques présentes dans le système oasien « *traditionnel* ». En parallèle, il y avait aussi de nombreuses initiatives privées et informelles des populations oasiennes, qui ont souvent été formalisées par la suite grâce à l'APFA (Hamamouche *et al.*, 2015). À Adrar, et en réponse au développement démographique, des petites exploitations, souvent de moins d'un hectare, ont été installées en contact des anciennes oasis. Elles étaient irriguées au début par des puits à balanciers, remplacés par la suite par des motopompes.

L'exécution de cette nouvelle orientation agricole, mise en œuvre sur le terrain à partir de 1985, était dominée par l'enthousiasme de surmonter les contraintes environnementales hostiles de la zone en prévoyant que « *des investissements lourds, selon des normes scientifiques éprouvées ailleurs, puissent transformer radicalement le désert* » (Bendjelid *et al.*, 2004). Des agriculteurs originaires de la zone et des investisseurs venus du nord du pays ont été appelés et motivés pour conquérir ce nouvel Eldorado des sables selon les termes de Bisson (2003). La conquête de ces nouveaux espaces à climat désertique était motivée surtout par la rente du pétrole qui a impulsé les transformations dans cette zone et a permis la mise en place de grands moyens financiers destinés au développement du Sahara et à son intégration au territoire national. En plus de l'attribution des terres, les programmes de développement agricole ouvraient souvent droit aux subventions de l'État et aux crédits bancaires pour l'équipement des nouvelles extensions des oasis. D'après Bendjelid *et al.* (2004), les aménageurs avaient pensé que « *les savoirs technocratiques les plus récents seront plus efficaces que les savoir-faire traditionnels accumulés au long des millénaires* ». En parallèle des programmes de développement agricole, des promotions administratives, des améliorations des services (éducation, santé, habitat, communication, ...) et ouverture des oasis sur des nouvelles opportunités de travail ont favorisé la dominance d'un discours de « *modernité* » signifiant une rupture avec l'agriculture oasienne, à laquelle a été attribué les

statuts de « *traditionnel* » et de « *patrimoine* », équivalent de l'incapacité de cette agriculture à rejoindre les progrès techniques et économiques de l'époque.

Pourtant, l'agriculture oasienne avait prouvé sa capacité de s'adapter et de surmonter les contraintes de l'aridité à travers l'exploitation des eaux souterraines par les foggaras, pour lesquelles les oasiens ont mis en place des règles et des organisations spécifiques. L'agriculture dans le Touat, Gourara et Tidikelt était maintenue par des formes d'action collective, de solidarité et des pratiques appréhendées au cours des siècles d'adaptation. Selon Bendjelid *et al.* (1999) « ...*ce volontarisme paysan ksourien doit être perçu comme un facteur indispensable pour assurer la continuité du travail de la terre au risque de disparaître* ». Pour les nouveaux périmètres, Dubost (1989) avance l'idée que « ... *leur implantation doit obéir à des motivations agro-économiques certes, mais aussi stratégiques et sociologiques. Ce qu'on doit exiger de ces projets c'est de reconstruire l'oasis, couple inséparable du territoire agricole et du village, avec son organisation sociale et sa finalité économique* ».

Cependant, sur le terrain, les programmes de développement agricole étaient souvent orientés par une logique de « *creatio ex nihilo* » de périmètres agricoles sans véritables liens avec les oasis existantes (Hamamouche *et al.*, 2018). Tout d'un coup, les oasiens se trouvaient sur des nouveaux terrains où on leur demandait de faire face, individuellement, à l'extrême aridité à l'aide des moyens techniques et financiers mis à leur disposition. L'accès à l'eau par les forages, en libérant les oasiens des contraintes topographiques et des pesanteurs sociales, et l'introduction de nouvelles techniques d'irrigation étaient considérées suffisantes pour passer d'une agriculture de subsistance à une agriculture de marché. Cette nouvelle orientation fondée sur des valeurs « *de modernisme, de productivité, obligeait logiquement à nier les valeurs et références sociétales traditionnelles ...*, tout s'est passé à partir de 1970 comme si les différents niveaux de solidarité traditionnelle n'existaient plus » (Bendjelid *et al.*, 2004). Après plus de 45 ans des interventions entamées à partir des années 1970, l'agriculture saharienne à Adrar ne semble pas encore avoir trouvé son essor. Les quelques bilans réalisés montrent des grands décalages entre les ambitions de ces programmes de développement agricole « *moderne* » et les réalisations (Otmame & Kouzmine, 2013; Sahli, 1997). Dans ce chapitre, nous émettons l'hypothèse que l'agriculture saharienne dans une zone à conditions hostiles comme celles de Touat, Gourara et Tidikelt, ne peut réussir sans intégrer les logiques et les pratiques séculaires que les oasiens ont développées afin de surmonter l'aridité (action collective, solidarité, stratification de cultures, diversification de revenus, ...). Afin de maintenir leur activité agricole et surmonter les contraintes locales, nous supposons que les

oasiens ne tardent pas à greffer leurs logiques et pratiques sur les nouveaux périmètres de mise en valeur. Encore plus, le retour des oasiens aux anciennes oasis, et l'adaptation de ces dernières au nouveau contexte socioéconomique et environnemental local, ne constituera qu'une réponse et une preuve de leur conscience et souci envers la durabilité du modèle actuel de l'agriculture saharienne. Ainsi, nous montrons, d'un côté, l'apport de l'agriculture oasienne qui a sauvé l'agriculture saharienne et, d'autre côté, le rôle de cette dernière dans le maintien de l'agriculture oasienne qui a bénéficié des nouvelles techniques apportée par les différents programmes de développement.

Dans le même sens, Côte (2002) estime que la réussite de l'agriculture saharienne demande la disponibilité de l'eau et d'une solide paysannerie : « *C'est l'Est du Sahara algérien, et le Sud tunisien, c'est-à-dire le Bas Sahara, qui réunissent le mieux les atouts concernés, cela n'est peut-être pas sans lien avec le fait que c'est là que l'on rencontre les dynamiques agricoles les plus grandes (Ziban, Nefzaoua)* ». Néanmoins, il suppose que l'installation des nouveaux périmètres de mise en valeur loin des anciennes oasis fragilise l'implication des paysanneries dans le projet agricole proposé et diminue leurs chances de réussite. Ainsi, « *il a alors fallu prendre en charge les problèmes d'habitat par la création de villages ..., Mais les fellahs sahariens répugnent à s'éloigner trop de leur terroir d'origine* » (ibid). Dans ce chapitre, nous considérons que cette hypothèse, qui semble simple au premier abord, est beaucoup plus complexe, puisque derrière il y a de nombreuses conditions à remplir pour avoir une solide paysannerie.

Dès l'initiation des programmes de l'agriculture saharienne, des scientifiques dans des domaines de recherche différents ont montré que l'atteinte des ambitions de cette politique sur des espaces comme ceux de Touat, Gourara et Tidikelt n'est pas une mince affaire. Au début, les arguments étaient souvent liés à la difficulté du contexte climatique, la fragilité des sols et l'incertitude de la durabilité d'une agriculture basée sur des réservoirs d'eau fossiles. Quelques années après, et suite à la modestie des résultats de l'APFA et le PNDA, cette argumentation s'est renforcée par des preuves quantitatives montrant les résultats mitigés sur l'ensemble de la zone, malgré les grands moyens mobilisés. L'objectif de ce chapitre est de descendre à une échelle plus fine permettant d'avoir suffisamment d'éléments de détail pour analyser la situation de l'agriculture saharienne au regard des spécificités biophysiques et socioéconomiques locales. Il s'agit de décrypter les logiques et les pratiques actuelles des agriculteurs dans les différents modèles d'agriculture saharienne présents sur le terrain

d'étude, et cela en vue de contribuer à la réponse aux interrogations soulevées depuis plus de quatre décennies sur la durabilité de l'agriculture saharienne.

2. De la planification à la réalisation : l'État généreux, moteur de la mise en valeur agricole :

Le développement de l'agriculture en Algérie a toujours fait objet du regard de l'État. Cela se justifie par sa responsabilité à assurer les besoins alimentaires de la population, chose qui n'est pas facile face à une forte croissance démographique. La grande partie de cette population est concentrée dans le nord, et fortement urbanisée. Le nord représente moins de 20 % de la superficie du pays mais les conditions physiques sont meilleures pour pratiquer l'agriculture que celles du Sahara qui s'étend sur près de 2 millions de km². L'agriculture du nord était face à des complexités foncières, une forte urbanisation grignotant le foncier et demandant la mobilisation de l'eau pour assurer l'approvisionnement en eau potable, et qui dépend des pluies souvent irrégulières. Dans le Sahara, ces deux contraintes apparaissaient moins présentes. Les terrains sont beaucoup plus vastes et peu exploités en agriculture et les réserves d'eau souterraine sont importantes.

Moins de dix ans après l'indépendance, le pouvoir central de l'Algérie voulait profiter des avantages du Sahara en y développant une agriculture qui peut servir à minimiser la dépendance alimentaire à l'étranger pour « *suppléer les carences de l'agriculture du nord du pays par celle du Sahara* » (Côte, 2002), améliorer les conditions de vie de la population locale et intégrer cette zone au territoire national. Ainsi, la première initiative, qualifiée par Gauthier (1980) comme « *une orientation radicale* », vient avec l'application de l'ordonnance n° 71-73 de 1971 portant la révolution agraire. Appliquée à l'ensemble du territoire national, cette dernière « *interdit toute forme de transactions portant sur le foncier agricole* » (Bessaoud, 2016a) et cela « *... en rétablissant dans l'agriculture, des rapports directs de travail, basés sur le principe la terre appartient à ceux qui la travaillent* »¹⁸.

L'application de cette loi dans le Touat, Gourara et Tidikelt avait surtout des retombés sur les rapports entre les différentes catégories sociales actives dans les oasis. Selon Bendjelid *et al.*, (1999) « *Les propriétaires fonciers reconnaissent ... que l'application de la réforme agraire ... a été à l'origine de la refonte des rapports sociaux au sein de la société oasienne* ». Néanmoins, et selon Marouf (2017), les reconfigurations ont bien commencées avec « *la création, dès 1964, de chantiers de plein-emploi dans la région (revivification de foggaras*

¹⁸ Ordonnance no 71-73 du 8 novembre 1971 portant Révolution agraire

communales) » qui a permis aux métayers et leurs fils « à entrer dans des rapports contractuels avec les anciens maîtres ». (*ibid*). Cette réforme des années 1970, au contraire, n'était pas d'un grand apport direct pour la production agricole de la zone, à l'exception de deux initiatives : la première est l'opération « tomate d'Adrar » commencée en 1970 et visait une production « *extra-primeur* » par les oasiens sur les anciennes parcelles irriguées surtout par les foggaras et sur un nouveau périmètre de mise en valeur qui n'a jamais eu lieu. Cette expérience a connu un échec après la fermeture de l'unité de conservation, située à Reggane à 150 km au sud d'Adrar, suite aux multitudes contraintes techniques et économiques rencontrées (Sahli, 1997). La deuxième intervention était la mise en place du village socialiste de M'guiden, où des oasiens issus de certaines oasis de Gourara ont eu accès à la terre, l'eau de forage et l'habitat. Le village est encore occupé par sa population et les propriétaires des parcelles attribuées dans le cadre d'une coopérative agricole collective se sont orientés vers un mode d'exploitation individuel des terrains et gardent encore la gestion collective sur le forage d'irrigation (Otmane, 2010).

Face à la modestie des résultats de cette réforme agraire et l'augmentation des besoins en matière de produits agricoles d'une population croissante, l'État décide de s'orienter vers les territoires de sud et exploiter au maximum ses richesses naturelles par la mise en valeur des nouveaux terrains. C'est au début des années 1980 que cette orientation a été officiellement instaurée par la promulgation de la loi de l'Accession à la Propriété Foncière Agricole (APFA). Selon Daoudi *et al.* (2015) « *La loi de l'APFA de 1983 est la première loi foncière qui cible spécifiquement et prioritairement le foncier agricole dans ces zones [steppiques et saharienne] ..., [elle] fait de la promotion de l'agriculture dans les zones arides et semi-arides un axe prioritaire de la stratégie de développement de l'agriculture algérienne* ».

L'objectif de l'APFA était de mettre en valeur une superficie de 800 000 ha sur l'ensemble du territoire national, au sud en particulier. Cette superficie a été attribuée à 126 000 bénéficiaires. Pour les wilayas de sud, 95 512 bénéficiaires de l'APFA avaient engagé la mise en valeur de 605 741 ha (*ibid*). À Adrar, l'objectif était au début était de mettre en valeur une superficie de 100 000 ha (Sahli, 1997). Pour le pouvoir central, Adrar représentait des grandes potentialités : l'eau, la terre et des paysanneries solides. Après cinq ans d'exploitation, l'attributaire du terrain dans le cadre de l'APFA avait le droit de demander « *la levée de la*

condition résolutoire »¹⁹ et le changement du statut de l'exploitation en propriété privée, « *le transfert de propriété s'effectue au dinar symbolique* »²⁰.

Pour atteindre ces objectifs, deux types d'exploitations ont été pensés et mis en place à côté des anciennes oasis, la grande et la petite mise en valeur. La *grande mise en valeur* reproduit des expériences considérées réussies dans des pays ayant des conditions biophysiques qui rassemblent à celles du Sahara algérien, en particulier en Californie et l'Arabie Saoudite (Côte, 2002), qui sont arrivés à exporter leur produits quelques années après le début de leurs expériences. Cette agriculture vise la production céréalière massive sur des vastes exploitations parfois de plusieurs milliers d'hectares. À Adrar, ce modèle utilise des rampe-pivots qui irriguent en une seule fois entre 25 et 50 ha de superficies. L'eau nécessaire vient de la nappe souterraine du Continental Intercalaire (CI), elle est exploitée par des forages de 120 à 150 mètres de profondeur qui assurent chacun jusqu'au 50 l/s de débit.

L'État a fait appel à des exploitants « investisseurs » originaires de la zone et d'autres venus du nord du pays, organisés sous forme de coopératives collectives ou individuelles, pour la mise en place de ce qu'on peut appeler un modèle d'agriculture rentière. Ces exploitants « *accèdent plus facilement à la terre, à l'eau, au crédit et aux aides de l'Etat. Ils bénéficient de la politique de soutien des prix* » (Bessaoud, 2016b). L'État s'est occupé des grands aménagements par la réalisation des réseaux de pistes et d'électricité et l'installation des forages et de leurs équipements. « *Les propriétaires peuvent ... bénéficier d'exonérations, de taxes, droits et redevances sur les biens d'équipement et fournitures nécessaires à la mise en œuvre de leurs programmes de mise en valeur ou à l'exploitation des terres devenues productives* »²¹. En plus, les investisseurs ont droit d'accès aux crédits bancaires dont le montant de crédit a été plafonné entre 60 % et 90 % du coût total de l'investissement. Pour le remboursement, il est sur « *7 ans, dont 2 ans de différé, au maximum, pour les crédits à moyen terme ; 17 ans, dont 5 ans de différé, au maximum, pour les crédits à long terme* » avec des taux d'intérêt de 2.5 % et 3.5 % respectivement²². Les exploitants des rentiers sont aussi accompagnés par L'Office Algérien Interprofessionnel des Céréales (OAIC)²³ à travers les Coopératives de Céréales et de Légumes Secs (CCLS). Ces dernières assurent

¹⁹ Décret n° 83-724 du 10 décembre 1983 fixant les modalités d'application de la loi n°83-18 du 13 août 1983 relative à l'accession à la propriété foncière agricole

²⁰ Loi n° 83-18 du 13 août 1983 relative à l'accession à la propriété foncière agricole

²¹ Loi n° 83-18 du 13 août 1983 relative à l'accession à la propriété foncière agricole.

²² Arrêté interministériel du 26 mai 1985 fixant les modalités d'octroi de crédits pour le financement des opérations de mise en valeur des terres à vocation agricole.

²³ Ordonnance du 12 juillet 1962 relative à l'organisation du marché des céréales en Algérie et de l'office algérien interprofessionnel des céréales (OAIC), et le décret exécutif n°97-94 du 23 mars 1997 fixant le statut de l'office algérien interprofessionnel des céréales (OAIC).

l'approvisionnement en semences et en engrais avec des prix subventionnés. À la fin de la saison, elle s'occupe de la récolte, de l'achat, du transport et du stockage des produits.

Le deuxième type d'exploitations mises en place dans le cadre de l'APFA est la petite mise en valeur. Cette dernière était destinée principalement aux petits agriculteurs oasiens sur des superficies de moins de 10 hectares. Anciens notables et métayers se sont portés candidats pour bénéficier des avantages du programme et accéder aux nouvelles exploitations. Cela leur permet aussi d'éviter les contraintes rencontrées dans le secteur oasien traditionnel « *l'inégalité sociale dans le secteur traditionnel, [et] ... l'état de blocage dans la question foncière oasienne* ». Le passage de l'exploitation des foggaras collectives aux forages individuels a été qualifié comme un « *basculement de la logique agricole* » dans ces oasis. L'eau n'est plus une contrainte pour l'exploitation, car une fois avoir l'accès à la terre, un forage réalisé en quelques jours suffit à l'irrigation de plusieurs hectares (Otmane, 2010).

L'aménagement des périmètres de la petite mise en valeur était une tâche de l'État. Cet aménagement a souvent été déficient sur le terrain, car 20 ans après l'exploitation, plusieurs périmètres n'ont pas eu l'accès à des infrastructures comme les routes et pistes ou encore l'énergie²⁴. Néanmoins, les attributaires avaient les mêmes droits d'accès aux subventions et aux crédits bancaires sur l'équipement de leurs parcelles que dans la grande mise en valeur. Ce qui fait la différence avec cette dernière est la taille des exploitations. Les exploitations de la petite mise en valeur ont des tailles entre 2 et 10 ha. Cela montre bien que ce type de mise en valeur était destiné pour un modèle d'exploitation différent par des populations oasiennes déjà sur place. Dès les premières années, les attributaires ont adopté cette logique en reproduisant les pratiques agricoles oasiennes sur ces exploitations plus grandes que leurs parcelles d'origine, reproduisant une agriculture paysanne qui permet la diversification des cultures entre palmiers dattier et autres cultures maraichères.

Après leur installation, les exploitations de la petite mise en valeur étaient moins accompagnées par les services de l'État que celles de la grande mise en valeur. La réglementation ne prévoyait pas l'intervention de ces services à aucun moment du cycle de production. L'agriculteur a été laissé s'occuper de la mise en culture de sa terre, l'irrigation, la récolte et même la commercialisation en cas de surplus de production. Vu le contexte géographique, biophysique et social local, même avec la gestion collective et les pratiques d'entraide et de solidarité dans le secteur oasien traditionnel, les oasiens arrivaient à peine à

²⁴ Dans certains périmètres, par exemple, les réseaux d'électricité étaient encore à plusieurs km des exploitations. L'alimentation se faisait par des câbles, et c'est avec les programmes entamés à partir de l'an 2000 (PNDA et renouveau rural en particulier) que la situation s'est améliorée.

subvenir à leurs propres besoins. En d'autres termes, est-il suffisant d'affranchir les contraintes de la terre et l'eau pour faire réussir l'agriculture saharienne dans un environnement pareil que celui d'Adrar ?

Quelques années après l'application de la loi de l'APFA, les premiers résultats montrent un énorme décalage entre les ambitions et les réalisations. L'engouement des paysans s'explique surtout par la générosité de l'État qui s'est montré prêt à prendre en charge les grands travaux d'aménagement des périmètres, subventionner des équipements et même fournir un aide financier par crédits bancaire. Cela s'est traduit à Adrar par l'attribution de plus de 60 000 ha vers 1992 pour les deux types de mise en valeur (Sahli, 1997). Environ 10 ans après, les chiffres relèvent encore un décalage entre les superficies attribuées et celle réellement mise en culture. Comme le dit aussi Bisson (2004) « *l'engouement pour la possession d'un bien, accordé gratuitement par l'État, n'est pas nécessairement synonyme de réussite agricole, tant les paramètres sont nombreux* ». Plus tard, en 2000, plus de 80 000 ha étaient attribués pour environ 4 000 attributaires dans les trois parties de la wilaya d'Adrar, Touat, Gourara et Tidikelt dont environ 55 % pour la grande mise en valeur. Pour la même année, les superficies irriguées sur l'ensemble des périmètres de l'APFA étaient de 10 244 ha (selon la DSA²⁵ d'Adrar) soit environ 13 % des terrains attribués, dont près de 50% dans la petite mise en valeur (Tableau 1). En 2014, la superficie totale irriguée est passée à 14 886 ha dont plus de 57% dans la petite mise en valeur. Cette évolution peut être expliquée surtout par l'application du Programme de PNDA à partir de l'an 2000.

Tableau 1: Superficies irriguées dans les périmètres de mise en valeur à Adrar

année	Superficie irriguée (ha)		
	Petite mise en valeur	Grande mise en valeur	Total
2000	5070	5174	10244
2014	8576	6310	14886

Source : DSA 2015

Le Programme National de Développement Agricole (PNDA), a été mis en place suite aux résultats mitigés du programme de l'APFA à partir de 2000 dans un contexte de caractérisé par l'accord politique sur le programme de réconciliation nationale qui a mis fin à la décennie noir d'un côté et, d'autre côté, l'augmentation de la rente pétrolière qui a atteint, pour la première fois, des niveaux exceptionnels. Le PNDA vient en secours pour renforcer les capacités de production et offrir des conditions techniques plus favorables. Il cible

²⁵ Direction des services agricoles

l'amélioration des conditions de travail directement au niveau des exploitations. Le programme finançait dans ses premières années, à part entière, l'installation de nouveaux puits et forages et leur équipement, la construction des bassins de stockage et des canaux d'irrigation, l'installation des réseaux d'irrigation en goutte à goutte et l'implantation des nouveaux palmiers. Ce programme donnait aussi la possibilité de financement pour l'achat et l'installation des serres destinées aux cultures maraichères. Ces dernières trouvent leur essor surtout avec l'arrivée des agriculteurs du nord ayant plus d'expérience dans le travail des serres et de certaines espèces limitées auparavant dans le nord du pays (haricots verts, chou-fleur, concombre, ...). Le PNDA donnait aussi la possibilité de financement de toutes ces opérations pour les parcelles dans le secteur traditionnelles ainsi que la réhabilitation des foggaras. Dans une deuxième étape, la participation de l'État a été réduite en donnant la possibilité d'avoir le complément par des crédits bancaires.

Ce programme a permis de reprendre la dynamique sur les périmètres de l'APFA. Des nouveaux terrains ont été mis en valeur et cultivés en palmier dattier. Pour les oasiens, le PNDA était un bon moyen de gain d'argent pour investir, souvent même en dehors de l'agriculture. En effet, les coûts des opérations laissaient une marge pour les bénéficiaires. Les jeunes palmiers viennent souvent des anciennes parcelles des bénéficiaires, et c'est eux-mêmes qui font l'implantation et l'installation des réseaux de goutte à goutte. Leur perception par rapport à ce programme était clairement comme un outil de soutien qui ne signifie pas forcément le développement²⁶. Lorsque nous avons demandé à un bénéficiaire de nous expliquer le fait d'abandonner quatre hectares implantés en palmier dattier avec un bassin de stockage et d'un réseau de goutte à goutte dans le cadre du PNDA, il a répondu : « *l'État n'a pas le droit de nous responsabiliser. On a fait le travail demandé contre un financement préalablement défini ..., si l'État voulait vraiment nous soutenir comme le programme est nommé, il aurait nous donné de l'argent sans nous exiger des travaux ..., c'est à nous par la suite de décider quoi faire avec cet argent ..., au lieu de cultiver quatre hectares, j'aurai exploité un ou deux et je construirais une bergerie avec le reste d'argent ..., je mettrais, peut-être, un autre puits car après quelques années, un seul puits ne suffira pas pour plus de 400 palmiers ...* ».

Tandis que l'activité agricole dans cette zone est difficile et demande beaucoup de travail, ce qui réduit la superficie qu'une personne ou une famille peut travailler par rapport aux autres zones à climat différent, le PNDA donnait la possibilité de travailler plusieurs hectares pour

²⁶ Sur les documents officiels, le mot développement a été traduit en arabe par un équivalent du mot « soutien ».

un même paysan²⁷, qui cherchait, par conséquence, à maximiser ses gains en exploitant les plus grandes superficies possibles. Ainsi, la même personne peut monter plusieurs dossiers pour bénéficier du soutien même si les parcelles se situent dans des périmètres différents. Dans plusieurs cas enquêtés, les interviewés ont eu le soutien sur leurs parcelles dans l'ancienne oasis et sur celles des périmètres de mise en valeur. Encore plus, certains ont pu avoir le soutien sur des parcelles situées dans plusieurs oasis différentes. Dans beaucoup de cas aussi, les bénéficiaires déposent des dossiers aux noms de plusieurs membres de leurs familles pour profiter au maximum de ces aides. Aujourd'hui, on ne peut passer par un périmètre sans rencontrer plusieurs hectares de palmiers abandonnés. Cela est dû principalement à la difficulté de s'occuper de plusieurs parcelles par la même personne. Ce dernier est parfois recruté dans un autre secteur d'activité et l'agriculture pour lui n'est qu'une activité secondaire.

La loi n° 87-19 de 1987²⁸ donnait aux attributaires des terres le droit de jouissance perpétuel et transmissible et « *proposait une nouvelle restructuration des terres publiques selon des orientations libérales* » (Amichi et al., 2015). Avec cette loi l'État, « *dans un contexte de réduction drastique des recettes financières* », a revu son mode d'intervention dans le secteur agricole (*ibid*). Ainsi, « *les domaines agricoles socialistes (DAS) sont morcelés, leurs terres étant partagées entre de petits collectifs d'anciens salariés de ces domaines, donnant naissance à des exploitations agricoles collectives (EAC)* » (Daoudi et al., 2015). En 2010, une nouvelle loi²⁹ a été promulguée pour régler la situation des terrains désignés dans le cadre de la loi n° 87-19 de 1987. Elle porte sur les conditions et les modalités d'octroi du droit de concession, ceci est défini comme : « *le droit d'exploiter des terres agricoles du domaine privé de l'Etat ainsi que les biens superficiaires y rattachés, sur la base d'un cahier des charges fixé par voie réglementaire, pour une durée maximale de quarante (40) ans renouvelables, moyennant le paiement d'une redevance annuelle* ». Les terrains destinés à cette fin ont été choisis dans plusieurs communes dans le Touat, Gourara et Tidikelt. Néanmoins, les bénéficiaires rencontrés ne cessent d'exprimer leur inquiétude sur la situation de ces périmètres et sur le sens des aides octroyés. Beaucoup de périmètres n'ont pas été encore reliés aux réseaux d'électricité ce qui rend leur exploitation difficile. En plus, et

²⁷ Pour avoir le statut officiel d'agriculteur et accéder au PNDA, il suffit de déposer un dossier auprès de la chambre de l'agriculture pour avoir la carte professionnelle de *fellah*. Ainsi, même les fonctionnaires dans les autres secteurs d'activité ont pu bénéficier du PNDA. Dans certaines communes, c'est eux qui ont même bénéficié le plus, car ils sont les plus habitués à suivre les démarches administratives, chose qui n'était pas facile pour les simples paysans. Pour affranchir les plafonds de superficies, hommes et femmes d'une même famille peuvent se porter candidats.

²⁸ Cette loi détermine le mode d'exploitation des terres agricoles du domaine national et fixe les droits et les obligations des producteurs.

²⁹ Loi n° 10-03 du 15 août 2010 fixant les conditions et les modalités d'exploitation des terres agricoles du domaine privé de l'Etat.

malgré les avantages des crédits octroyés pour l'exploitation, le risque reste encore important. Selon un jeune bénéficiaire à l'oasis d'Ouled Aissa, qui est parmi les trois jeunes à entamer les procédures pour bénéficier d'un crédit bancaire dans cette oasis, « *il n'y a pas d'électricité sur le périmètre ..., disant que je peux installer une pompe solaire et j'arrive même à produire, qui va m'assurer le transport ? À qui je vais vendre mes produits et où ? ..., je ne peux pas m'occuper de tout ..., j'ai passé plus d'un an dans les procédures pour avoir le financement bancaire, je ne suis pas encore arrivé ..., je m'arrête là car ça ne sera pas une bonne affaire* ». Dans cette même oasis, plusieurs jeunes ont bénéficié des exploitations mais aucune d'entre elles n'a été réellement mise en culture. Les bénéficiaires interviewés ont clairement expliqué leurs candidatures à ce programmes car ils pensaient qu'il y aura des subventions et non pas des crédits bancaires à rembourser.

Dans le périmètre d'Oued Ghzala à Adrar, plus de 400 jeunes ont bénéficié des terrains depuis 2012. Aujourd'hui, tout le monde est d'accord sur l'échec de cette opération. Les bénéficiaires accusent les responsables des administrations qui n'ont pas accompagné la mise en place du projet. Selon certains bénéficiaires, le périmètre n'a été alimenté en électricité qu'en 2017, cinq ans après son installation. Les responsables des structures de financement (banques et agences et caisses de soutien des jeunes et des chômeurs) accusent les bénéficiaires de détournement de l'argent pour l'utiliser pour d'autres fins car beaucoup de bénéficiaires de crédits n'ont rien entrepris sur le terrain.

Pour financer l'exploitation, l'État a mis en place deux formes principales de crédits. Le premier appelé « *Rfig*³⁰ » de courte durée, sur une année et vise les exploitations déjà actives. Il finance les travaux de renforcement technique des exploitations et l'achat des intrants nécessaires à l'activité agricole, et c'est l'État qui paye les intérêts. Le deuxième type de crédit est appelé « *Ettahadi*³¹ », il est destiné à la création des nouvelles exploitations avec un montant d'un million de dinars³² par hectare, sur 10 hectares au maximum. Pour des superficies exploitées en plus, l'exploitant peut demander un crédit bancaire. Le remboursement se fait sur 7 ans et l'État s'occupe du paiement de l'ensemble des intérêts pour les deux premières années. Entre la 3^{ème} et la 5^{ème} année, le bénéficiaire paye 1 % des intérêts, 3 % entre la 5^{ème} et la 7^{ème} année. Au-delà, il paye l'ensemble des intérêts. En plus, l'État a mis en place plusieurs structures pour financier les différents projets comme l'Agence

³⁰ L'accompagnant en arabe.

³¹ Le défi en arabe.

³² Équivalent de 7 000 €.

Nationale de Soutien à l'Emploi de jeunes (ANSEJ) et la Caisse Nationale d'Assurance Chômage (CNAC). Elles financent les projets dans les différents secteurs d'activité dont l'agriculture. Aujourd'hui, le matériel agricole acquis par ces financements se revend à des prix bas, parfois à 50 % de moins par rapport à son prix réel.

À travers la succession de multitudes programmes de développement, l'État voulait atteindre les objectifs fixés pour l'agriculture saharienne : la sécurité alimentaire du pays, intégrer cette zone à l'État-nation et l'amélioration des conditions de vie de sa population. Aujourd'hui, il est évident que les deux derniers objectifs sont bien atteints. Néanmoins, la production agricole de cette agriculture n'arrive toujours pas à satisfaire les ambitions des décideurs. Dans ces programmes de développement agricole, deux éléments essentiels semblent avoir la priorité pour les aménageurs :

1- la question du foncier : Alors que le Sahara ne manque pas de terrains, la question du foncier a été traitée de la même manière que dans le nord du pays où les terrains sont moins abondants. Si les interventions se justifient au nord par la complexité foncière héritée de la période coloniale, elles sont, par contre, à l'origine d'un engouement qui n'a pas été suivi d'une exploitation réelle de ces terrains. La régularisation de la situation foncière au nord pourrait être la première étape vers l'exploitation de ces terrains, car l'eau vient en grande partie de pluies et les conditions du climat et de marché sont meilleures.

2- le financement des aménagements et des équipements : pour le développement de l'agriculture saharienne, les aménageurs ont pris les contraintes physiques et techniques comme l'obstacle principal, ou unique, dont il faut affranchir à travers l'investissement. C'est ainsi que l'État a pris en charge les différents besoins financiers nécessaires aux grands aménagements et équipements au niveau des exploitations agricoles.

Au sud, l'accès à la terre ne peut pas être la seule condition pour la réussite de l'agriculture saharienne. Les contraintes sont nombreuses et beaucoup plus compliquées qu'au nord du pays. L'aménagement des nouveaux périmètres et l'accès à l'eau souterraine demande plus de dépenses, les conditions climatiques sont plus dures et le marché local ne suffit pas pour la commercialisation des produits. La réussite de l'agriculture saharienne, comme l'estime Côte (2002) doit se baser sur une bonne intégration de la paysannerie solide construite dans ces zones. L'initiative de l'État a manqué d'une analyse approfondie de la situation de l'agriculture dans le Touat, Gourara et Tidikelt. Par exemple, l'installation des nouveaux périmètres loin des anciennes oasis ne permet pas aux oasiens de se coordonner face aux

contraintes du climat et de la rareté de l'eau. Leur éloignement ne permet pas aussi la pratique d'une agriculture familiale. L'éloignement des grands marchés pose aussi un problème de commercialisation des produits. Ainsi, les oasiens doivent transformer cette agriculture saharienne d'une manière pour affranchir les différents obstacles non pris en considération dans les programmes de développement agricole.

L'échec des programmes a invité la formulation de nouveaux programmes pour renforcer le soutien financier et technique, mais toujours sans atteindre les objectifs fixés depuis les années 1980. La réalité est donc beaucoup plus compliquée et les difficultés de la paysannerie ne se limitent pas à des questions de moyens matériels et d'accès à la ressource. Pour mieux comprendre cela, une analyse plus fine pourra éclairer la situation. L'analyse des pratiques et des stratégies des oasiens sera un bon outil pour soulever et comprendre d'autres éléments susceptibles d'expliquer la modestie des résultats.

3. Pratiques et stratégies des agriculteurs : trois modèles émergents

Depuis le lancement du programme de l'APFA, les oasiens à Adrar ont montré leur engouement pour bénéficier des nouveaux terrains. C'est ce qu'a été traduit par les grandes superficies attribuées et le nombre important d'attributaires. Les différentes statistiques issues des administrations concernées, ou même celles issues des travaux de recherche, cependant, montrent que les superficies mises en culture sont loin des ambitions déclarées au début de ces programmes. Les oasiens appelés à sortir de leurs *jardins*, et s'ouvrir sur une vie meilleure et plus moderne, ont vite intégré les initiatives de l'État sur les nouvelles extensions, mais souvent sans accomplir la tâche qui leur a été confiée, au moins de la manière prévue par les aménageurs. Cela concerne à la fois la petite et la grande mise en valeur. Selon Côte (2002) les oasiens « *distinguent mise en culture et mise en valeur ... cette dynamique a généralement été mieux servie par les petites et moyennes exploitations, aux mains des Sahariens eux-mêmes, que par les États ou les grands investisseurs* ». Les raisons sont nombreuses et différentes d'une partie de la zone à l'autre. L'explication revient à la bonne connaissance du contexte par les oasiens et des grands risques qu'il faut prendre dans un environnement pareil.

À travers des enquêtes réalisées dans le Touat, Gourara et Tidikelt, dans des périmètres de la mise en valeur³³, nous avons analysé la situation de certaines exploitations sur lesquelles les propriétaires sont encore actifs. En regardant leurs pratiques agricoles et les stratégies

³³ Dans cette thèse, nous nous intéressons plus à la petite mise en valeur, car c'est la qu'on trouve plus de dynamiques et des liens avec l'agriculture oasienne dans le secteur traditionnel.

derrière, trois modèles semblent en émergence et justifient la continuité de l'exploitation dans ces périmètres de mise en valeur :

3.1. La grande mise en valeur : une agriculture rentière ou le modèle gâté de l'État

Ce type d'agriculture est pratiqué sur les périmètres de la grande mise en valeur désignés par les autorités locales depuis le lancement du programme de l'APFA. La délimitation des terrains a été faite par les services techniques sur les endroits les plus favorables pour avoir des débits d'eau exploitables et suffisants pour ce type d'agriculture. Les superficies visées varient d'un périmètre à un autre. Sur le périmètre de Baamer, dans les deux communes de Fenoughil et Tammest à 40 km au sud de la ville d'Adrar, plus de 40 000 ha ont été programmés. Sur les 21 406 ha concernés pour la commune de Fenoughil, 10 533 ha, soit environ 50 %, ont été attribuées (Otmane, 2010). Cependant, pour l'année agricole 2013/2014, seulement 693 ha ont été réellement mis en culture et 794 ha pour 2015/2016 (7.5 %) irrigués par 25 pivots³⁴, dont 747 ha pour le blé dur, 20 ha pour l'orge et 27 ha pour l'avoine. La production reste assez décevante et était estimée entre 30 et 40 Qtx/ha et atteint parfois 50 Qtx/ha.

Sur ce périmètre, on a visité la plus grande exploitation de la commune. Le propriétaire est un ingénieur agronome descendant d'une famille des notables de la zone. Après avoir terminé ses études, il a intégré le travail dans l'exploitation de la grande mise en valeur de son oncle dans le périmètre de Stah Azzi dans la commune de Zaouiet Kounta. Il a participé à la gestion de l'exploitation pour plusieurs années, pendant lesquelles il a eu le savoir nécessaire pour la gestion de ce type d'agricultures. Au début des années 2 000, il a créé sa propre exploitation, celle décrite ici. Le financement était assuré surtout dans le cadre du PNDA avec des crédits bancaires pour compléter l'équipement nécessaire. Pour éviter les contraintes des superficies et des financements plafonnés, il a monté cinq dossiers pour lui et quatre autres membres de sa famille. L'exploitation compte 16 pivots qui irriguent entre 25 ha et 30 ha chacun (photo 7). Chaque pivot est doté d'un forage de 120 à 150 m de profondeur équipé et alimenté en énergie par un transformateur électrique (photo 8).

³⁴ Données de la subdivision de l'agriculture à Fenoughil, vérifiées et confirmées sur les images Google-Earth.



Photo 7 : Irrigation de 30 ha de blé par pivot (S.Idda, février 2018).



Photo 8 : Forage d'irrigation et transformateur électrique (S.Idda, février 2018).

Les pivots sont répartis sur plusieurs kilomètres de distance. C'est à côté du pivot le plus proche des anciennes oasis et de la route nationale n° 6 qu'il a construit une petite base de vie. A côté du pivot, 10 ha sont destinés à d'autres cultures maraichères dont un hectare de

plasticulture destiné aux cultures des melons et pastèques. 20 ha de terrains, déjà exploités pendant plusieurs années par pivot, ont été consacrés à la culture du palmier dattier.

L'exploitation fait travailler huit ouvriers en permanence entre autochtones et émigrés des pays du sud de l'Algérie. Elle compte deux petites maisons pour les travailleurs, un grand appartement pour la famille du propriétaire, un bureau de travail, une petite mosquée et un parc du matériel agricole. L'investisseur habitait sur l'exploitation avec sa famille durant quelques années et s'est installé finalement dans la ville d'Adrar.

Dans ce type d'agriculture, l'exploitant n'a pas de relation avec le marché. Avec la CCLS, il est approvisionné en semences, en engrais et en matériel agricole nécessaire. La CCLS récupère directement la production et le risque lié au marché est nul. Ces avantages ont donc fait apparaître des « investisseurs » sur fonds publics. Dans un autre périmètre à côté du premier, un autre investisseur a bénéficié d'un pivot et d'un forage équipé au début du programme de l'APFA. La terre et le matériel ont été abandonnés après six ans d'exploitation. En 2016, le même investisseur est revenu pour exploiter sur des nouveaux terrains, avec un nouveau pivot et forage équipé. Ces comportements n'existeraient pas si l'investissement était fait sur son propre argent.

3.2. L'agriculture entrepreneuriale :

Sur le terrain d'étude, l'agriculture entrepreneuriale est souvent mise en place dans les périmètres de la petite mise en valeur par deux catégories d'agriculteurs, chacune avec des acteurs, des logiques et des pratiques particulières :

3.2.1. Les agriculteurs oasiens entre ambitions de durabilité et besoin de rentabilité

⋮

À travers les programmes mis en place par l'État, certains oasiens continuent à travailler la terre en essayant de passer d'une agriculture paysanne, qu'ils pratiquaient depuis plusieurs siècles, à une agriculture plus entrepreneuriale qui vise le marché local ou même national. Cependant, cela ne peut se faire sans s'affranchir des difficultés liées au contexte local de la zone. Le cas d'Ahmed est très illustratif ici. C'est un jeune de 30 ans, descendant de l'oasis d'Ouadgha dans la commune de Fenoughil. Il vit dans une famille élargie avec ses parents, ses frères et sœurs. Les trois garçons de la famille dont Ahmed sont mariés.

Tandis que les trois frères occupent des postes de travail dans les administrations de l'État, un ingénieur et deux enseignants, les parents et les femmes de la famille s'occupent d'une parcelle dans le secteur traditionnel. Sur cette parcelle, la famille fait aussi de l'élevage de

volaille. Le produit se vendait dans la ville d'Adrar, où ils avaient loué deux locaux de commerce. Après avoir eu son diplôme universitaire en 2011, Ahmed a intégré le poste d'enseignant dans une école moyenne. En parallèle, il montait un dossier pour avoir le soutien de l'État et un crédit bancaire dans le cadre de l'Agence Nationale de Soutien à l'Emploi des Jeunes (ANSEJ). Pour cela, il a loué une parcelle de mise en valeur à côté de son oasis et avec laquelle il a pu avoir le financement nécessaire pour l'achat d'un tracteur et une dizaine de serres en 2012.

L'accès à ce matériel agricole a encouragé Ahmed à quitter son poste de travail pour tenter l'agriculture entrepreneuriale. En 2013, il a acheté avec l'argent de la famille une exploitation agricole abandonnée dans le périmètre de la grande mise en valeur de Baamar pour un montant de 2 000 000 DA³⁵. L'exploitation est d'une superficie de 50 ha et appartenait à quatre propriétaires dans le cadre d'une coopérative agricole de l'APFA entrée en exploitation en 1990, mais qui l'ont abandonnée en 2005. Elle est dotée d'un forage de 150 m, et d'un bassin de stockage d'une capacité d'environ 80 m³. La coopérative est arrivée à une situation de blocage après un désaccord entre les partenaires et leur incapacité à payer les charges de pompage et de gestion de l'exploitation.

Après deux ans d'exploitation en utilisant un générateur d'électricité bricolé, en 2016 Ahmed a acheté un transformateur électrique qui a lui coûté 700 000 DA³⁶. Aujourd'hui, il exploite seulement 4 ha de cette exploitation. Un hectare partagé entre blé et pomme de terre, irrigué par un pivot artisanal (Ould Rebai *et al.*, 2017) installé seulement cette année et dont les résultats ne paraissent pas bons pour Ahmed (photo 9). Il explique cela : « *car je n'ai pas d'expérience en pivot ..., c'est juste un essai* ». Deux autres hectares sont destinés à la culture des pastèques dont un hectare mis en culture depuis la fin du mois de janvier sous des petits tunnels en plastique et l'autre mis en culture à champs en fin du mois de février, « *cela me permet d'avoir une production de primeur, au moins deux mois avant la grande production dans le nord du pays. La production sera répartie sur une période plus longue de la saison qui colle ces années avec le mois de Ramadhan qui connaît une grande demande sur les pastèques et les melons* ». Sur le quatrième hectare, il diversifie les cultures : tomates, oignons, ails, pois et laitue. Sur les trois hectares, l'irrigation se fait par goutte à goutte. La fertilisation du sol se fait par les apports du fumier et sans traitement chimique des plantes. Le problème de salinité est très remarquable sur les sols de l'exploitation (photo 10). Selon

³⁵ Environ 14 300 €.

³⁶ Environ 5 000 €.

Ahmed, cela est dû à l'eau de l'irrigation qui n'est pas très bonne. Pour le travail, c'est Ahmed qui s'occupe tout seul de l'exploitation au cours de l'année, sauf pour certaines périodes de la semence pour laquelle il recrute un jeune de l'oasis.



Photo 9 : Culture sous pivot artisanal fabriqué localement dont la conception vient de la zone de Souf (S.Idda, février 2018).



Photo 10 : Cultures associés, irrigation goutte à goutte et salinité du sol dans l'exploitation d'Ahmed, périmètre de Baameur (S.Idda, février 2018).

Pour justifier la limitation de l'exploitation à 4 ha sur les 50 ha qu'il possède, la réponse était : *« déjà avec les 3 hectares, je n'arrive pas à vendre mes produits. Au cours de l'année, le prix*

de la tomate atteint parfois 200 DA [l'équivalent de 1.4 €] sur le marché de la ville d'Adrar. Dès que nous commençons la récolte locale, le prix baisse pour atteindre le dixième du prix soit 20 DA [l'équivalent de 0,14 €] ». Au cours de la période de la récolte, Ahmed passe l'après-midi sur sa parcelle pour faire la récolte et se déplace le lendemain matin avec sa petite camionnette pour vendre ses produits à la ville d'Adrar à environ 50 km au nord de l'exploitation. Pour améliorer la rentabilité de l'exploitation, il a monté un dossier pour avoir un crédit bancaire. Il vise l'installation d'un grand pivot pour irriguer entre 20 et 30 ha de céréales. Selon lui, c'est la seule culture avec laquelle la commercialisation ne posera pas de problème.

Ce cas relève le passage d'Ahmed, fils d'oasien, d'une agriculture paysanne dans le secteur oasien traditionnel à une agriculture entrepreneuriale dans le périmètre de mise en valeur. Bien que sa stratégie actuelle soit la production destinée au marché à la ville d'Adrar, les pratiques sont un mélange de paysannes et entrepreneuriales. Il prend tous les risques liés au contexte climatique local et au marché volatile et il a utilisé l'argent de la famille pour acheter l'exploitation. Pour minimiser le risque, il reste sur une petite production diversifiée de « cultures spéculatives » (Hadeid *et al.*, 2018). En parallèle, il vise aussi une gestion durable de la terre pour laquelle il utilise le fumier et sans intrants chimiques. Il travaille souvent lui-même et sa production couvre aussi les besoins de la famille. Malgré l'accès aux subventions de l'État et au crédit bancaire sur le matériel agricole acheté, il n'est pas encore arrivé à rentabiliser son exploitation. Les risques liés au marché et aux conditions climatiques locales sont toujours présents, ce qui explique le choix de s'orienter vers la grande culture des céréales, comme le font les exploitants de la grande mise en valeur. Rester proche de l'État est la solution pour contenir ces risques à long terme.

3.2.2. Les agriculteurs venus du nord du pays, une agriculture transitoire :

Dans le cadre des programmes de l'agriculture saharienne, l'État a fait appel aussi aux agriculteurs du nord pour conquérir des nouveaux terrains dans le cadre de différents programmes de développement. Les périmètres de la grande et la petite mise en valeur dans la commune d'Aougrouit dans le Gourara, à 70 km au sud de Timimoune, étaient l'une des premières destinations des agriculteurs venus du nord. Les motivations étaient nombreuses : la terre au prix du dinar symbolique, l'eau à quelques mètres de profondeur, le financement accordé et moins de vent par rapport aux autres parties de la zone. Les agriculteurs arrivés ont investi surtout dans la grande mise en valeur au début. Quelques années après, et avec la

diminution des rendements, ils se sont orientés vers les cultures maraîchères dans des serres en tunnels jugées plus rentables.

La majorité de ces agriculteurs sont originaires de l'est du pays, la wilaya de Sétif en particulier. C'est le cas des exploitations dans le périmètre de Bouguemma situé à 10 km au nord d'Aougrou. Alors que les propriétaires des terrains sont des oasiens de la commune, l'exploitation se fait par des jeunes venus de la wilaya de Sétif. C'était le cas dans toutes les exploitations que nous avons visité depuis 2010 dans ces périmètres. Pour montrer les trajectoires de ce modèle d'agriculture, voilà l'exemple d'une exploitation d'un jeune de 41 ans, Mohamed, originaire de Sétif.

Il loue, depuis 6 ans, la terre d'un propriétaire autochtone de l'oasis. L'exploitation est de 4 ha de superficie. Le loyer est calculé chaque année en fonction du nombre des serres en tunnel qu'il met en culture. Le loyer est de 8 000 DA³⁷ par serre exploitée et par an. La terre est louée avec un forage non équipé mais branché sur le réseau d'électrification. La main d'œuvre vient du nord, ses frères et cousins en particulier, et parfois des maliens et nigériens. Cela s'explique par le fait que la main d'œuvre locale s'oriente vers des métiers plus rentables comme les chantiers des hydrocarbures en plein développement dans la zone.

La stratégie du locataire est de rentabiliser la terre au maximum. Pour cela, il fait des amendements surtout du fumier de poules qu'il fait venir du nord et des engrais. Il utilise aussi des pesticides pour la lutte contre les maladies ou même à des fins préventives. Chaque serre est exploitée pour deux ans sur le même endroit et sera déplacée sur une nouvelle partie de l'exploitation. Le locataire justifie cela par la diminution remarquable de la production après la deuxième année. A la fin du tour, il doit chercher un nouveau terrain qui n'a été jamais mis en culture pour le louer.

Après quelques années d'expérience, tous les exploitants sur le périmètre s'orientent vers la production du concombre et beaucoup moins les tomates. Le locataire justifie ce choix par le prix intéressant du concombre sur le marché et sur une longue période de l'année (novembre-mai). Il précise : « *c'est une production de contre saison, avant l'arrivée de la production de Tipaza qui fait baisser le prix qui ne suffira même pas à couvrir les frais d'emballage à partir du mois de mai. L'autre avantage du concombre est sa capacité de rester en bon état sur une longue période, contrairement aux autres produits qui ne peuvent pas résister aux conditions du transport vers le nord du pays sur environ 1400 km de distance vers le marché du gros de*

³⁷ Environ 57 €.

Chelghoum El Aid dans la wilaya de Mila, ... le marché est bien en situation de monopole. Même si on est originaire de la zone, nous sommes obligés de passer par certains ‘manipulateurs’ du marché pour pouvoir vendre nos produits ».

Le propriétaire de la terre a aussi sa propre stratégie. Il ré-exploite les terrains déjà utilisés et libérés par le locataire. Les restes des engrais et de la matière organique dans le sol permettent de développer certaines cultures. Ces dernières sont diversifiées entre cultures maraîchères (oignon, fève, ail, melon et pastèque) et céréales (blé et maïs) (photos 11 et 12). En parallèle, le palmier dattier est implanté sur l'ensemble de la partie cultivé, « *les exploitations sont ainsi en évolution constante, jusqu'à la mise en place et l'installation de palmiers, gage de pérennité* ». C'est la même trajectoire observée dans la wilaya de Biskra dans l'ouest algérien (Amichi *et al.*, 2015). L'irrigation se fait par goutte à goutte par le même forage utilisé par le locataire et les deux participent au paiement des frais d'électricité qu'ils estiment conjointement.



Photo 11 : Exploitation d'une parcelle par le propriétaire après le déplacement des serres du locataire et diversification de cultures (laitue, carottes, pomme de terre, ail, et maïs). Irrigation par goutte à goutte (S.Idda, février 2018).



Photo 12 : Culture de pastèque dans des petites serres tunnel, blé en arrière-plan et palmier dattier sur l'ensemble de la parcelle (S.Idda, février 2018).

Le propriétaire recrute un ouvrier nigérien en permanence. Il habite dans l'exploitation et son salaire est de 30 000 DA (214 euros), soit environ 1,6 fois le Smig en Algérie. Il s'occupe de l'irrigation des cultures et de la réalisation des palissades en palmes. Une bonne partie de la production est destinée au marché local et le reste pour les besoins de la famille du propriétaire. Les revenus de la location de la terre et de la vente des produits arrivent à peine à payer le salaire de l'ouvrier. L'avantage du propriétaire est d'avoir son exploitation avec un sol plus au moins travaillé et des palmiers dattiers au stade de production à la fin du contrat de location, sans beaucoup de dépenses de sa part.

La contrainte principale exprimée par le locataire est la difficulté d'accès au foncier agricole. Des dizaines de dossiers ont été déposés par les locataires pour cette fin depuis plusieurs années. L'accès aux terrains reste bien réservé aux habitants de la commune. Dans certains cas, ces jeunes continuent plusieurs années dans la location et suivent en parallèle leurs dossiers de demande de terrain. Cette période leur permet de bénéficier de statut de résident au niveau administratif et un peu moins au niveau social.

Cet exemple relève deux types d'agricultures différentes entre le locataire et le propriétaire de la terre :

a) *Le locataire :*

C'est une stratégie de court terme, sa logique est de maximiser la rentabilité des cultures intensives et de gagner plus d'argent pour pouvoir agrandir les superficies cultivées ou même passer à une exploitation de la grande mise en valeur. Ses pratiques sont intensives : il utilise les serres, la fertilisation du sol, le traitement chimique des plantes, le déplacement des serres chaque deux ans et le choix des cultures les plus rentables. Le choix de la culture des concombres après plusieurs années d'essais montre qu'il y a bien un apprentissage issu des expériences passées.

Pour minimiser les risques du marché, le locataire s'adapte aux spécificités géographiques de la zone. Il assure lui-même le transport de sa production et intègre le réseau de commercialisation dans les marchés au nord du pays. Il utilise une main d'œuvre venue du nord et qui a déjà de l'expérience dans cette agriculture. Il s'intègre socialement pendant plusieurs années en permettant au propriétaire d'exploiter en parallèle et utiliser le même forage. Cependant, cette agriculture pose des problèmes d'ordre écologiques et de qualité de produits. Le fumier de poule apporté du nord vient d'un élevage intensif de volaille et l'utilisation des pesticides restent susceptibles de nuire à la qualité des produits. Cette année par exemple, ces agriculteurs déclarent l'atteint des concombres par une maladie qui résiste même aux traitements (photo 13). Les apports de fumier du nord peuvent transmettre de mauvaises herbes qui n'existaient pas dans la zone. Ce phénomène on l'avait remarqué dans d'autres périmètres et parfois mêmes dans les anciennes oasis par l'utilisation des semences et de certains aliments de bétail venues du nord.



Photo 13 : Concombre touché par une maladie dans le périmètre de Bouguemma (S.Idda, février 2018).

Ce modèle est caractérisé par une courte trajectoire. L'entrepreneur locataire garde ce même statut pendant plusieurs années. Dans certains cas, il devient propriétaire de terre qui lui permet soit de garder le même type d'agriculture entrepreneuriale, surtout si l'exploitation agricole est dans la petite mise en valeur, ou de passer à une plus grande exploitation, parfois en maintenant des pratiques entrepreneuriales, si l'exploitation est dans la grande mise en valeur. C'est le cas ici d'un autre jeune originaire de Sétif et locataire de terre depuis 7 ans. Après plusieurs années, en 2017, il a pu avoir l'accès à 100 ha dans le périmètre de la grande mise en valeur d'Aougrouit. Sa nouvelle stratégie est de garder la production sous les serres et minimiser les risques en intégrant le modèle de l'agriculture rentière sur la même exploitation. Pour ce dernier, il a installé un pivot subventionné par l'État qui lui permet de faire de la céréaliculture, dont l'accompagnement est assuré aussi par la CCLS, et d'accéder aux crédits bancaires en cas de nécessité.

b) Le propriétaire :

Sa stratégie vise le moyen à long terme. Il est satisfait de l'état du sol qu'il considère favorable pour atteindre son objectif de production. L'essentiel pour lui est d'avoir, dans quelques années, une exploitation bien protégée en palissades³⁸ et les palmiers dattiers productifs avec le moindre coût possible. Il assure ses besoins en produits agricoles et diversifie ses revenus en parallèle par le travail dans un autre secteur en dehors de l'agriculture. L'éloignement du périmètre de l'ancienne oasis et la présence des travailleurs du locataire sur l'exploitation ne permet pas l'intégration des femmes de la famille dans le travail sur l'exploitation. Ainsi, le recrutement du nigérien était la réponse adoptée même si le coût est élevé par rapport aux revenus de l'exploitation.

3.3. L'agriculture paysanne ou la nouvelle agriculture oasisienne : une réponse aux contraintes de l'agriculture saharienne

L'agriculture paysanne est le modèle que nous avons le plus rencontré sur les périmètres de mise en valeur visités dans les communes d'Ouled Ahmed, Fenoughil, Tammest et Zaouit Kounta dans le Touat, les communes d'Ouled Aissa, Charouine, Talmine, Tinerkouk et Aougrouit dans le Gourara et la commune d'Aoulef dans le Tidikelt. La logique des paysans est d'assurer les besoins de la famille en priorité avec la commercialisation de quelques produits demandés sur le marché local, national et parfois même pour l'exportation aux pays du sud³⁹. Les revenus servent à payer certains frais de l'exploitation, les coûts de pompage en

³⁸ Qui servent à délimiter la propriété foncière et réduire l'effet des vents sur les cultures.

³⁹ Les dattes en particulier.

particulier, et subvenir aux autres besoins pour améliorer la qualité de vie des familles⁴⁰. Le travail dans l'exploitation est assuré par certains membres de la famille. Les autres membres assurent la diversification des revenus par le travail dans d'autres secteurs. Dans ce modèle, les oasiens combinent des pratiques de l'agriculture oasiennes traditionnelle avec d'autres techniques modernes et des pratiques entrepreneuriales. Le niveau d'intégration varie d'une zone à l'autre, d'un périmètre à l'autre et même d'une famille à l'autre sur le même périmètre.

Au Gourara, dans le petit périmètre d'Aoumeh à 65 km de Timimoun, par exemple, on trouve une agriculture paysanne qui intègre dans sa stratégie la commercialisation sur le marché de Timimoune. Des paysans sortis de l'oasis de l'erg⁴¹ d'Ajdir ont fait de cette agriculture leur activité principale. L'exploitation de la terre est individuelle et le travail est assuré par les hommes et les femmes des familles. Sur une même exploitation, on trouve deux systèmes de culture.

Une partie qui reproduit les pratiques oasiennes et concerne les cultures en étages. Elle regroupe le palmier dattier, quelques arbres fruitiers et des cultures maraichères. L'irrigation se fait par submersion en utilisant des *séguias*. Cette partie de l'exploitation a les avantages bioclimatiques du système oasien traditionnel, connus aussi par « *l'effet oasis* » (Dubost, 1989). Elle offre la fraîcheur nécessaire au développement des cultures durant les périodes de chaleur. L'autre avantage du maintien de ces pratiques est l'irrigation de plusieurs cultures en même temps en réduisant la quantité d'eau nécessaire. Ainsi, c'est une nuance qu'il faut faire pour comparer la demande en eau des cultures dans le Sahara. Si l'hectare du palmier dattier consomme trois fois plus d'eau que celui du blé (Dubost, 1991), cette différence devrait être beaucoup moins lorsque ses cultures sont associées.

Une autre partie de l'exploitation est destinée à la monoculture. Dans des petites parcelles, souvent de moins de $\frac{1}{4}$ de l'hectare, ces paysans développent des cultures maraichères et des céréales à destination du marché avec des palmiers dattiers plus espacés (photo 14). L'irrigation se fait par des réseaux de goutte à goutte réparties entre les petites parcelles et permettent la gestion des débits qui ne permettent pas souvent l'irrigation de l'ensemble en une seule fois. Cette partie est moins exploitée durant la période estivale.

⁴⁰ Achat des vêtements, des équipements pour les foyers, les frais de soins, besoins des enfants pour aller à l'école, ...

⁴¹ Dans ces oasis, l'agriculture se fait dans des dépressions entre les dunes de sable du grand erg occidental et directement sur la nappe, c'est l'équivalent des « *ghouts* » dans la zone de Souf .



Photo 14 : Culture de melon à destination du marché, irrigué par goutte à goutte avec des palmiers espacés (S.Idda, avril 2017).

La superficie limitée de ces exploitations, entre 1 et 2 hectares, permet aux paysans d'améliorer le sol par des apports en sable, en fumier et en argiles. Selon les cultures envisagées pour chaque saison, ces oasiens distinguent bien les besoins des cultures et les conditions édaphiques favorables à leur développement. Dans ce modèle de l'agriculture paysanne, l'élevage ovin, et un peu moins caprin, occupe une place intéressante, il est souvent intégré dans les exploitations. Il assure une valeur ajoutée pour leurs revenus d'une part, et fournit le fumier indispensable à la fertilisation des sols d'autre part. Les bergeries construites sur les exploitations demandent la présence journalière sur les exploitations, c'est une autre raison pour laquelle les pratiques de l'agriculture oasienne sont maintenues dans ces nouveaux périmètres de mise en valeur.

Pour la commercialisation de leurs produits, les paysans d'Aoumeh se sont organisés collectivement. Les agriculteurs ayant des véhicules *pick-up* s'organisent à tours de rôle le long de la semaine et assurent le transport et la commercialisation des produits des autres agriculteurs dans ce périmètre. Aujourd'hui, ils sont considérés parmi les principaux approvisionneurs en produits maraichères sur le marché de Timimoun, autrefois en situation de monopole et maîtrisé par des commerçants du nord.

Un autre exemple, toujours dans le Gourara, est celui de l'oasis de Haiha dans la commune d'Ouled Aissa. Après le tarissement des foggaras et l'évolution démographique connue durant les cinq dernières décennies, les habitants de l'oasis ont installé des nouvelles parcelles

agricoles, de moins d'un hectare de superficie, au contact de l'ancienne oasis et sur lesquelles ils ont construit leurs habitations. Cela leur permet de garder la participation des femmes dans l'activité agricole et l'intégration des hommes dans le marché du travail en dehors de l'oasis. La production sert aux besoins des familles dont certaines arrivent à avoir l'autosuffisance en légumes et en céréales. L'autre partie de la production, surtout les dattes⁴², le blé, le millet et les arachides, est commercialisée dans les deux grandes villes de la zone, Adrar et Timimoun.

Les exemples décrits ici pour montrer la transformation de l'agriculture saharienne en un modèle paysan n'empêchent pas la présence d'autres formes d'adaptation et parfois même d'échec. Lorsque les paysans n'arrivent pas à adapter l'agriculture dans les nouveaux périmètres aux contraintes sociales, économiques et environnementales, l'abandon de cette agriculture et le retour aux parcelles irriguées par les foggaras peut être la solution envisagée. Pour montrer la complexité de la situation dans certains cas, nous présentons ici un exemple dans lequel plusieurs facteurs doivent être envisagés pour l'exploitation du nouveau périmètre de mise en valeur. L'intérêt de cet exemple réside dans la modestie des résultats de l'exploitation malgré les avantages financiers mis en place par rapport aux autres périmètres de la zone. Par l'analyse de la situation de quelques exploitations, nous montrerons, dans ce qui suit qu'il ne suffit pas d'avoir la terre et l'eau pour faire de l'agriculture dans cette zone. Nous montrerons également que les oasiens, à travers le retour aux anciennes parcelles, ont bien compris l'intérêt de la collaboration et de l'action collective pour maintenir leur activité agricole.

4. Ouled Aïssa : les oasiens sur les périmètres de la petite mise en valeur, intégration des logiques oasiennes ou retour aux anciennes oasis

Nous allons montrer à travers une étude de cas, l'oasis d'Ouled Aïssa, comment les paysanneries dans notre zone d'étude se sont d'abord engagées dans la mise en valeur des petits périmètres *modernes*, tout en adaptant cette mise en valeur à leurs logiques et pratiques paysannes. Cependant, la population d'Ouled Aïssa n'a jamais abandonné ses jardins dans l'ancienne oasis à foggara. Plus fort encore, on observe depuis quelques années un certain retour des oasiens vers leur oasis d'origine. La mise en place d'un modèle agricole résilient, dans un tel contexte de transformations socioéconomiques et environnementales, exige en effet une adaptation perpétuelle. Avec chaque changement issu des interventions anthropiques ou des facteurs naturels dans la zone, les oasiens avaient l'habitude de s'adapter en changeant

⁴² Pour les bonnes qualités, chaque paysan a sa clientèle qu'il a pu maintenir au cours des années. Ainsi, ce n'est pas toujours facile de trouver les dattes de cette oasis, très appréciées sur le marché.

leurs pratiques et/ou leurs stratégies. Les subventions de l'État et l'introduction des techniques de captage et d'irrigation modernes ont attiré la population des oasis séduite par l'avantage de réduire la peine nécessaire pour l'accès à l'eau dans les foggaras. Néanmoins, l'exploitation dans les nouveaux périmètres de mise en valeur n'a pas empêché les oasiens à maintenir leurs activités sur les parcelles dans les anciennes oasis. Selon les spécificités du contexte local de chaque oasis, les familles essayent de s'organiser de manière à maintenir l'activité agricole.

4.1. Des ressources en eaux limitées :

Dans l'oasis d'Ouled Aissa à 70 km de Timimoun et 15 km des deux autres oasis d'Aoumeh et Haiha (figure 12), l'exploitation dans le nouveau périmètre de la petite mise en valeur semble moins réussie que dans d'autres cas. L'agriculture reste toujours paysanne sans vraiment intégrer l'objectif du marché dans les stratégies des paysans. L'oasis connaît une dynamique de va-et-vient entre l'ancienne oasis et la nouvelle extension qui se termine parfois par l'abandon de l'exploitation du nouveau périmètre et le retour aux anciennes parcelles (figure 13). Paradoxalement, c'est le périmètre de mise en valeur de cette oasis qui a bénéficié le plus des programmes de développement agricole et le soutien de l'État par rapport aux deux autres oasis de Haiha et Aoumeh.

Un des problèmes évoqués par les populations concerne le manque d'eau dans le nouveau périmètre. L'oasis d'Ouled Aissa est située sur les lisères du grand erg occidental à 70 km de la ville de Timimoun (). Sur le plan hydrogéologique, la nappe souterraine est la nappe dite « *de l'erg* ». À Ouled Aissa, on distingue deux niveaux différents. En surface et jusqu'à une profondeur de 15 à 30 mètres, il y a une dalle calcaire fissurée. À ce niveau, le captage des puits se fait par les infiltrations à travers ces fissures qu'on appelle localement *Aîn*⁴³. Sous cette dalle, on distingue des formations alluviales, sable, gravier et argile. À ce niveau, l'eau est plus abondante. Cependant, le niveau de la nappe diminue sensiblement entre les saisons et aussi en cas de réalisation de plusieurs puits à proximité.

⁴³ Source en arabe.

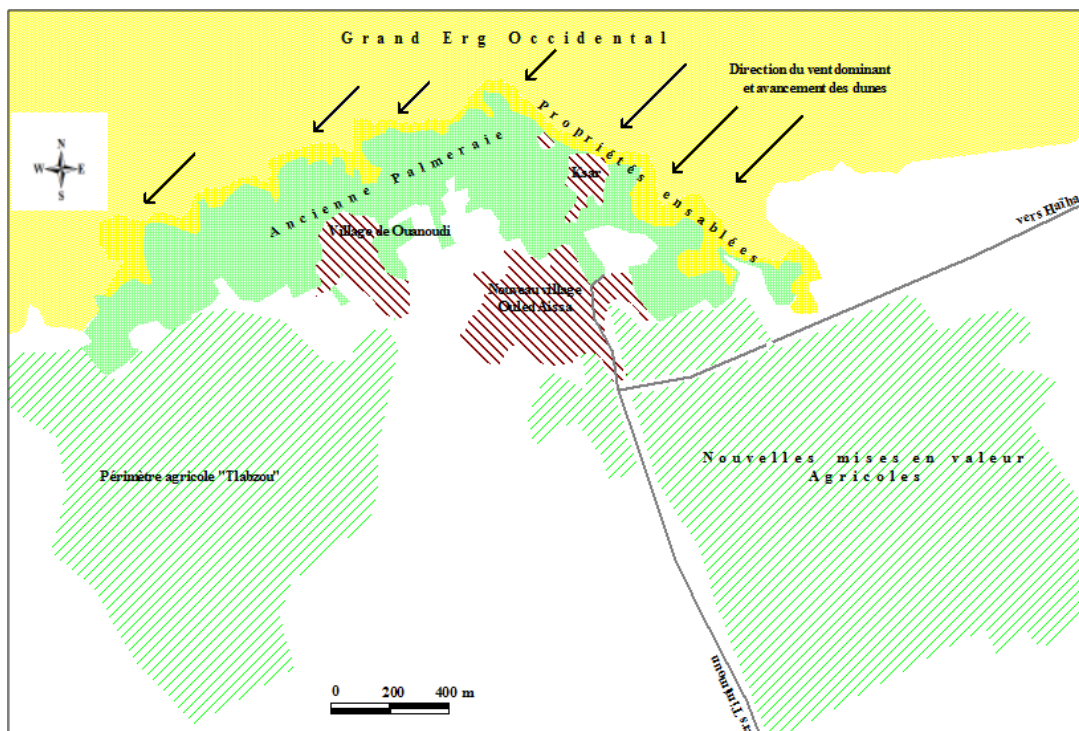


Figure 12 : Organisation spatiale de l'oasis d'Ouled Aïssa (Idda, 2011).

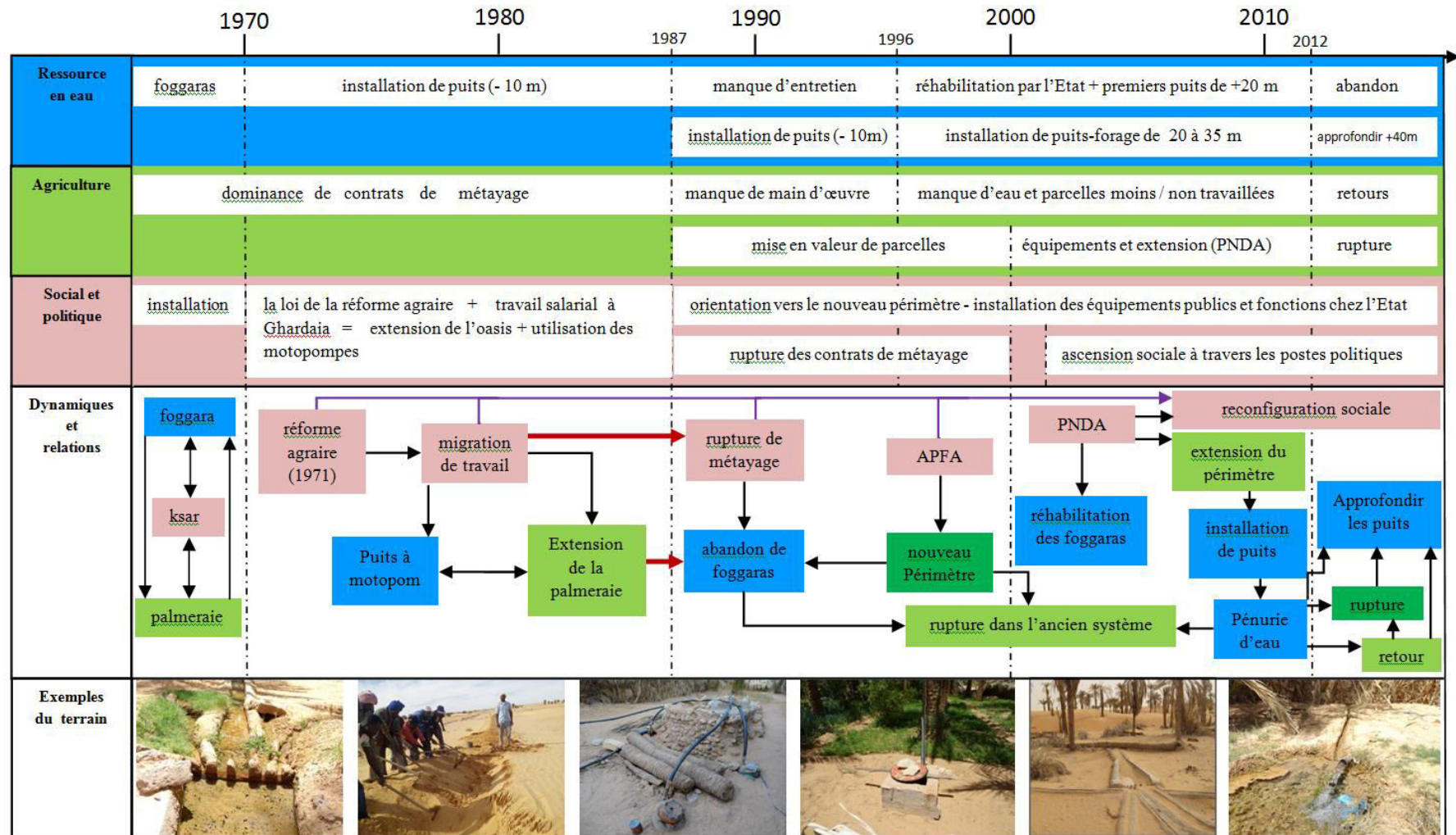


Figure 13 : Les grandes transformations dans l'oasis d'Ouled Aissa, les dynamiques entre l'ancienne oasis et le nouveau périmètre de mise en valeur et le retour vers les parcelles traditionnelles

L'oasis était irriguée par six foggaras avec des débits de 1 à 3 l/s. Aujourd'hui, trois foggaras sont encore pérennes avec un débit total d'environ 1.7 l/s⁴⁴. Cette diminution est due à l'effet conjugué du rabattement de la nappe, le manque d'entretien et l'ensablement. Ce dernier reste la contrainte majeure pour l'entretien des foggaras de l'oasis. C'est le cas de la foggara de Mahri qui avait un débit de 1 l/s et a été abandonnée au début des années 2000 laissant place à l'avancement des dunes sur sa seguia principale (photo 15). Toutes les foggaras de l'oasis ont bénéficié au moins d'une opération d'entretien et de réhabilitation, avec des montants de l'équivalent de 15 000 € à 50 000 € chacune, y compris celle aujourd'hui tarées ou abandonnées.



Photo 15 : Avancement de dunes après le tarissement de la foggara et l'abandon des parcelles (S.Idda, juin 2016)

Sur un échantillon enquêté de 41 familles, soit environ 25 % du total des familles propriétaires des foggaras de l'oasis, propriétaires de 47 puits dans le secteur traditionnel irrigué par les foggaras (Tableau 2), 30 familles (73 %) appartiennent à la catégorie des notables et 11 (27 %) aux familles des anciens khammès. Sur les familles enquêtés, 15 (37 %) sont organisées en familles élargies et 26 (63 %) sont organisées en familles nucléaires. Dans le premier cas, les membres de la famille partagent le travail des parcelles dans les deux secteurs traditionnel et moderne et qui restent des propriétés gérées collectivement.

⁴⁴ Données des inventaires faits par l'Agence Nationale des Ressources Hydriques à Adrar (ANRH).

Tableau 2: caractéristique de l'échantillon des familles enquêtées

	Type de famille			Catégorie sociale		
	Élargie	Nucléaire	Total	Notable	Autre	Total
N°	15	26	41	30	11	41
%	37	63	100	73	27	100

Source : enquête de terrain

4.2. L'installation de puits motorisés entre la mise en place de nouvelles parcelles et la ré-exploitation des parcelles abandonnées :

À côté de l'ancienne palmeraie, certains oasiens ont exploité des petites parcelles irriguées par des puits réalisés à la main à partir de la fin des années 1960. En contact de cette extension entamée par les oasiens, un petit périmètre de mise en valeur a été installé dans le cadre de l'APFA à partir de 1987. Sur les 41 familles enquêtées, 19 familles (46 %) ont des parcelles dans ce périmètre de mise en valeur. L'irrigation était assurée au début par des puits de cinq à dix mètres de profondeur. Vers 1996 (figure 13), des puits plus profonds ont été installés avec l'arrivée des engins de sondage mécanique apportés par des Syriens. À partir des années 2000, et avec l'application du PNDA, la superficie du périmètre a sensiblement augmenté et des baisses du niveau de la nappe ont été ressenties. Aujourd'hui, il faut au moins un puits de 50 mètres de profondeur pour avoir un débit d'environ 1 l/s. Sur les 47 puits visités (tableau 3), quatre puits (9 %) ont des profondeurs de 20 à 29 mètres, 27 puits (57 %) de 30 à 39 mètres, 11 puits (23 %) de 40 à 49 mètres et 5 puits (11 %) de 50 à 57 mètres de profondeur. Quatre puits ne sont pas exploités en raison de tarissement ou de taux de salinité élevé.

L'arrivée des sondes mécaniques dans l'oasis a permis aussi à certains propriétaires des foggaras d'installer des puits individuels ou collectifs entre deux à trois personnes, souvent d'une même famille. Sur les 47 puits, 26 puits (55 %) irriguent une seule parcelle, 13 puits (28 %) irriguent deux parcelles et 4 puits (9 %) irriguent trois parcelles souvent de la même famille. En parallèle, l'entretien des foggaras était moins régulier et leurs débits diminuaient d'une année à l'autre. Pour les foggaras tarées ou abandonnées, les parcelles ont été aussi abandonnées sauf pour les propriétaires ayant des puits.

Les propriétaires des parcelles dans le nouveau périmètre étaient orientés vers ces dernières en réduisant leur intérêt pour les anciennes parcelles. Cela se traduit habituellement par l'abandon des cultures annuelles, l'arrêt de pollinisation des palmiers et le manque d'irrigation. Dès la diminution des subventions de l'État, un retour remarquable aux anciennes

parcelles abandonnées a eu lieu depuis 2012. Sur les 19 familles propriétaires des exploitations dans le périmètre de mise en valeur, huit familles (42 %) ont complètement abandonnées leurs exploitations. Pour les interviewés, cela est expliqué par le manque d'eau, le coût élevé de forage des puits de plus en plus profonds, et l'éloignement des exploitations du périmètre de mise en valeur (2 à 5 km de l'ancien ksar). Ils argumentent cette dernière raison par la difficulté de participation des femmes au travail de ces parcelles, ce qui réduit la possibilité de déplacement des hommes en dehors de l'oasis pour le travail. Un ancien oasisien a justifié ce retour disant que « *c'est fou, ils ont quitté l'abri pour faire face au vent ..., 'prendre moins pour mieux exploiter'*⁴⁵ ». Pour lui la différences des conditions de travail entre l'ancienne oasis, mieux protégée, et la nouvelle extension très exposée aux vents est derrière l'échec de cette nouvelle agriculture.

Tableau 3: Caractéristiques des puits et des parcelles des familles enquêtées

	Profondeur de puits (m)					Secteur et état des parcelles			
	20-29	30-39	40-49	50-57	Total	Uniquement traditionnel	Traditionnelle + Moderne exploitée	Traditionnelle + Moderne abandonnée	total
Nombre	4	27	11	5	47	22	11	8	41
%	9	57	23	11	100	54	27	19	100

Source : enquête de terrain

4.3. Le dur labeur dans les périmètres de mise en valeur :

Dans les parcelles du secteur traditionnel ce sont souvent les femmes qui s'occupent du travail à l'exception de certaines tâches comme le labourage, le transport du fumier et la pollinisation des palmiers, assurées par les hommes. Un interviewé de 80 ans a bien illustré la trajectoire de l'exploitation de ses parcelles. Quand il a hérité sa parcelle dans les années 1970, elle était irriguée par une part d'eau de la foggara et un puits de 6 mètres de profondeur. Après le tarissement de la foggara vers 2001, il l'a abandonné jusqu'en 2005. En cette année, il est revenu grâce au financement du PNDA qui lui a permis d'installer un puits de 30 mètres et un bassin en béton d'une capacité de stockage de 12 m³.

En parallèle, il a bénéficié d'une parcelle de 2 ha dans le périmètre de mise en valeur en 1989 qu'il a commencé à exploiter par un puits de huit mètres de profondeur. En 2002 et toujours

⁴⁵ C'est un proverbe local cité par plusieurs anciens oasisiens interviewés pour dire que la mise en valeur dans les nouveaux périmètres est vouée à l'échec et que les petites parcelles dans les anciennes oasis sont les plus maîtrisables et les mieux adaptées aux conditions hostiles de la zone qui ne permettent pas d'exploiter des grandes surfaces avec les mêmes pratiques paysannes. Pour garder le sol fertile, par exemple, les superficies limitées des parcelles dans l'ancien système permettent d'assurer, régulièrement selon l'état de chaque parcelle, des apports de sable, d'argile et des amendements du fumier. Cela n'est pas toujours une mince affaire pour une exploitation de plusieurs hectares

par le biais du PNDA, il a installé un puits de 30 mètres et un bassin en béton d'une capacité de stockage de 25 m³. En 2008, il a abandonné les deux parcelles dans les deux secteurs en s'occupant d'une troisième parcelle irriguée par une autre foggara et dotée aussi d'un puits. Il a expliqué ce choix par l'incapacité de travailler plus qu'une parcelle à son âge. « *La parcelle du périmètre de mise en valeur était loin de ma maison et ma femme ne pouvait pas y aller tous les jours. Mes fils partaient à l'école, puis ils sont devenus fonctionnaires à l'extérieur de l'oasis* ». Lorsqu'il a abandonné la dernière parcelle exploitée en 2014, l'un de ses fils fonctionnaires à la ville d'Adrar a repris le travail de la parcelle abandonnée dans l'ancienne palmeraie en 2015. Il a installé un réseau de goutte à goutte (photo 16) et une pompe immergée dans le puits. L'utilisation d'un programmateur automatique pour le pompage lui permet de passer une à deux fois par semaine pour vérifier la parcelle.



Photo 16 : Association de cultures irriguées par goutte à goutte et submersion. En arrière-plan apports d'argile pour amélioration du sol (S.Idda, février 2018).

4.4. Les puits partagés, la réapparition de la foggara :

Dans l'oasis d'Ouled Aissa, au cours des cinq dernières décennies, les pratiques et les stratégies, dans les deux secteurs, oasisienne et de mise en valeur, semblent évoluer et s'adaptent aux changements du contexte (figure 13). D'un côté, sur les anciennes parcelles, les nouvelles techniques de captage (installation de puits), de stockage (bassins en béton) et d'irrigation (goutte à goutte) ont été introduites et certains puits sont gérés collectivement. De l'autre côté, sur les parcelles encore exploitées dans le périmètre de mise en valeur, les cultures restent en étages et sont destinées principalement à la consommation des familles. L'exemple présenté dans la figure 14, montre bien le processus d'évolution de l'installation et

de gestion de puits sur des petites parcelles de la même famille. Le premier puits a été installé en 1996 (carte de l'année 2000) et irriguait les parcelles de quatre frères. 15 ans après (carte de l'année 2017), quatre autres puits ont été mis en place. Chaque puits irrigue au moins deux parcelles qui appartiennent à deux propriétaires différentes (des frères et/ou cousins). Les points de distribution (*kasria*) sont remplacés par des vannes qui permettent de distribuer l'eau par tours ou en continue, ... C'est les nouvelles foggaras. Cette évolution rappelle bien le processus de la mise en place d'une foggara qui commence généralement par quelques membres de la famille et évolue pour devenir un bien commun (cf. chapitre I). La nature de ce nouveau système de captage par puits ne permet pas de mettre toutes les contributions dans une même infrastructure, sinon il y aura un système d'irrigation partagé entre l'ensemble des propriétaires des parcelles.

Parmi les contraintes principales de l'agriculture oasienne est le morcellement et l'exiguïté de la taille des parcelles. La superficie qui était exploitée par un seul propriétaire en 1912, appartient aujourd'hui à neuf propriétaires. Encore pire, certaines parcelles ont le statut de *habous* qui exclue les femmes de l'héritage et interdit aux hommes de vendre leurs parts, « *son but est de sauvegarder la propriété familiale en lui évitant tout morcellement* » (Otmane, 2010). Dans les exploitations du périmètre de mise en valeur, le problème de morcellement semble identique à l'ancienne oasis. Les paysans ont pu accéder à deux exploitations dans le cadre de l'APFA. Le propriétaire de la plus grande parcelle dans l'ancien système a abandonné la parcelle du nouveau périmètre quelques années après avoir bénéficié du programme de PNDA. La deuxième exploitation dans le nouveau périmètre est morcelée entre cinq hérités. Ainsi, la même situation trouvée dans les parcelles irriguées par les foggaras se produit dans les périmètres de la mise en valeur.

4.5. Un retour vers les parcelles du secteur traditionnel :

Après plusieurs années d'aventure sur des exploitations destinées à l'agriculture saharienne, les propriétaires restent attachés au modèle paysan dans l'oasis traditionnelle et ils intègrent ses logiques dans les nouvelles extensions. Dans les anciennes parcelles, plusieurs contraintes restent à surmonter dont le vieillissement des palmiers et la taille exigüe des parcelles suite aux morcellements successifs. La figure 13 montre les dynamiques dans l'oasis d'Ouled Aissa au regard des grandes transformations en relation avec l'intervention de l'État. Sur le plan socioéconomique, les années 1970 et 1980 ont connu un changement remarquable dans les relations du travail entre les propriétaires des foggaras et les métayers. L'ensemble de la zone de Gourara, un peu moins le Touat et Tidikelt, a connu un déplacement flagrant de la main

d'œuvre, de toutes les catégories sociales, vers d'autres secteurs d'activité, vers la wilaya de Ghardaïa en particulier⁴⁶. Par conséquent, l'oasis d'Ouled Aïssa avait connu une extension remarquable grâce à l'installation de nouveaux puits dotés de motopompes.

Avec l'application de l'APFA, à partir de 1987, une nouvelle extension a eu lieu en contact avec l'ancienne oasis. Les bénéficiaires, notables de l'oasis et métayers, ont exploité les nouveaux terrains par l'installation des puits réalisés à la main et dotés de motopompes. Cette période a connu une rupture profonde dans les contrats de métayage et les foggaras commencent à avoir moins d'intérêt. En parallèle, l'oasis avait bénéficié de plusieurs équipements publics (école primaire, salle de soin, bureau de poste, château d'eau, électrification, ...) qui ont permis d'offrir des postes de travail stables. Avec l'arrivée des sondes mécaniques en 1996, et par la suite des pompes immergées, les puits sont devenus plus profonds et les superficies des nouvelles parcelles sont devenues plus grandes en raison de la disponibilité de l'eau.

À partir de l'an 2000, l'oasis a connue une nouvelle dynamique issue de l'application du PNDA et des grandes dépenses issues la distribution de la rente pétrolière. D'un côté, de nouvelles exploitations ont eu lieu cette fois avec des techniques d'irrigation différentes. Le PNDA finançait la construction de bassins de stockage et des réseaux d'irrigation par goutte à goutte. En revanche, le niveau de la nappe a beaucoup baissé ce qui a mené les paysans à approfondir leurs puits pour continuer à exploiter leurs parcelles. De l'autre côté, les foggaras ont ainsi perdu l'intérêt des oasiens séduits par les moyens d'exhaure modernes. En revanche, l'État n'a cessé de financer des opérations pour leur réhabilitation et entretien.

A partir de l'an 2012, un retour remarquable a eu lieu vers les parcelles du secteur traditionnel. Selon les interviewés, cela s'explique par le manque d'eau et les difficultés rencontrées dans le périmètre de mise en valeur. La taille des parcelles ; généralement de plus de un hectare, ne permet pas de maîtriser les cultures comme dans l'ancien système. La protection contre le vent, l'amélioration de la qualité du sol et l'intégration de la main d'œuvre familiale sont parmi les principales causes évoquées. Ainsi, certains paysans ont complètement abandonné le nouveau périmètre pour installer un puits destiné à l'irrigation des parcelles irriguées auparavant par les foggaras.

⁴⁶ Il n'y avait pas de famille qui n'a pas au moins un membre qui travaille à Ghardaïa chez les *Mozabites*. Ces derniers avaient construit une grande confiance avec les demandeurs du travail venus du Gourara.

La stratégie des paysans aujourd'hui est de diversifier leurs revenus par le travail dans d'autres secteurs. Le marché du travail dans les grands centres urbains de la zone attire une bonne partie de la main d'œuvre oasienne. Cela explique, en partie, la situation de l'agriculture dans les oasis les plus proches des grandes villes qui sont moins maintenues par rapport aux oasis les plus loin.

L'analyse diachronique des dynamiques dans l'oasis d'Ouled Aissa montre la complexité de la situation de l'agriculture saharienne. Cette complexité relève de nombreux facteurs intervenant dans l'exploitation des nouveaux terrains et le maintien de l'agriculture oasienne dans l'ancien secteur irriguait par les foggaras. Malgré l'accès aux terrains, aux puits dotés de moyens de pompage plus puissants, aux techniques de stockages et d'irrigation modernes et aux subventions de l'État, la transformation de cette agriculture par les oasiens en agriculture paysanne et/ou la diminution de son intérêt au profit de l'agriculture oasienne montre que l'intégration de la paysannerie dans les nouveaux programmes de développement agricole ne peut être limitée à l'attribution du foncier et au financement des moyens techniques modernes. Le maintien de l'agriculture dans cette oasis se fait par l'intégration des savoir-faire et des valeurs de solidarité construits au fil de siècles. Le retour aux anciennes parcelles plus proches au village peut être expliqué aussi par le besoin d'intégrer les femmes dans le travail agricole, un avantage qui n'est pas assuré dans le nouveau périmètre de mise en valeur.

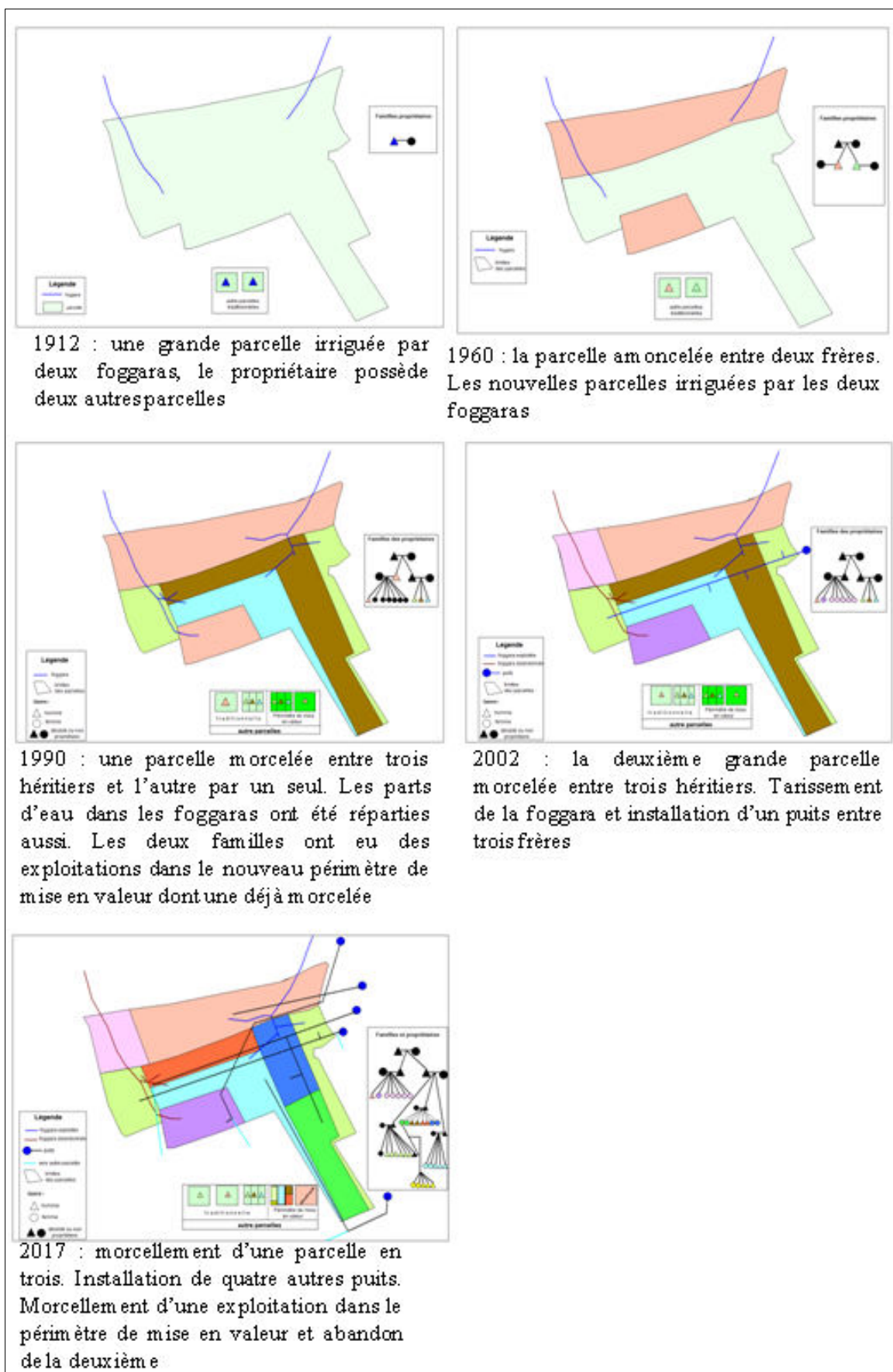


Figure 14 : Morcellement d'une parcelle traditionnelle, évolution généalogique et intégration de l'irrigation par puits dans l'oasis d'Ouled Aissa

5. Discussion et conclusion :

Depuis le début des programmes de mise en valeur dans le Sahara, des recherches issues de différents domaines ont soulevé des doutes sur la capacité de ces programmes d'atteindre les objectifs fixés par les aménageurs (Bisson, 2003; Côte, 2002; Dubost, 1986, 1989, 1991; Otmane, 2010; Sahli, 1997). Ce doute est expliqué par la particularité des conditions biophysiques du Sahara et les résultats modestes des expériences similaires dans d'autres pays du moyen orient et nord d'Afrique. Quelques années après, au moins sur la zone de Touat, Gourara et Tidikelt, ces discours pessimistes ont été renforcés par des arguments plus concrets. Les différents bilans statistiques ont montré la modestie des résultats par rapport aux ambitions initiales des programmes de développement agricole sur cette zone (Otmane & Kouzmine, 2013; Sahli, 1997). Cependant, les conclusions étaient toujours prudentes et ouvraient des nouvelles hypothèses qui donnent de l'espoir à la réussite de cette agriculture. Aujourd'hui, les 45 ans des expériences d'interventions, de subventions et de financement, ne sont-ils pas suffisants pour donner une réponse consolidée aux questions posées dès le départ ? La réponse à cette question n'est pas forcément une mince affaire. Néanmoins, la comparaison des objectifs fixés depuis l'entame du programme de l'APFA aux réalisations sur le terrain, incitera sans doute à reconsidérer la politique agricole actuelle dans les zones sahariennes.

Dans ce chapitre nous avons montré l'émergence de trois modèles d'agriculture saharienne à Adrar. Le modèle de la grande mise en valeur agricole qui reste dépendant de la générosité de l'État. C'est un modèle rentier qui compte toujours sur le financement par les fonds publics, sur les subventions de l'État tout au long du processus de production et sur les garanties d'achat des céréales assurées à travers la CCLS. La rentabilité économique de ce modèle est souvent justifiée par une production moyenne de blé dur d'environ 40 Qtx/ha, considérée élevée par rapport au nord du pays où la production moyenne est de 10 à 15 Qtx/ha. Cette comparaison est illusoire, elle ne prend pas le coût de production en considération. Selon les mots d'un technicien des services agricoles : « *le sol ici n'est qu'un support, il te rend ce que tu lui as donné* ». Obtenir cette production moyenne à Adrar ne peut pas se faire sans utilisation d'intrants subventionnés par l'État. Le prix de vente aussi n'est considéré bénéfique qu'avec ces subventions. Pour la campagne agricole 2016/2017, et avec l'incitation des autorités qui voulaient réduire la facture d'importation du maïs destiné à l'alimentation du bétail, certaines exploitations ont été orientées vers la production du maïs à Adrar. À la fin de la saison, l'Office Nationale des Aliments de Bétails (ONAB) hésitait à acheter le produit à

cause des coûts élevés générés par la distance qui sépare les périmètres de mise en valeur à Adrar et l'unité la plus proche située à environ 1 000 km dans la wilaya d'El Bayadh. Le problème n'a été réglé qu'avec l'intervention du premier ministre qui a décidé, exceptionnellement, d'une subvention de 2 000 DA⁴⁷/Qt pour cette année. L'arrêt de ce soutien pour l'année 2017/2018 a obligé les agriculteurs à faire le sillage du maïs et penser à réduire les superficies cultivées dans les prochaines années. Cette situation montre combien ce modèle d'agriculture est fragile et dépendant de l'argent de l'État. Cela confirme l'hypothèse de Dubost (1991) : « *Les zones irriguées peuvent disparaître dès que les conditions économiques changent et deviennent moins intéressantes* ».

Outre ces faiblesses économiques, l'utilisation des eaux d'une nappe fossile pour la grande production et sur un sol squelettique ne semble pas une affaire convaincante. Si les impacts ne sont pas encore beaucoup ressentis pour le moment, la situation risque de changer dans les prochaines décennies. Un rabattement général de quelques mètres peu faire disparaître complètement les foggaras de la zone. En plus, les petits agriculteurs paysans risquent de ne pas pouvoir suivre ces rabattements et supporter les augmentations dans les coûts de pompage. Les sols deviennent moins rentables après quelques années d'exploitation. Pour maintenir un minimum de rentabilité, il faut régulièrement déplacer les pivots : « *Il s'agit en réalité d'une mise en valeur plus ou moins itinérante, qui va changer de place lorsque les niveaux piézométriques vont se rabattre ou que les terres vont devenir plus salées* » (Dubost, 1991). Cela risque de rendre des grandes surfaces de terrains en état stérile.

Dans le cas du modèle entrepreneurial, la situation n'est pas plus rassurante. Les risques habituels, qu'un entrepreneur est sensé affronter, se multiplient dans le contexte de Touat, Gourara et Tidikelt. D'un côté, les conditions climatiques extrêmes peuvent en tout moment mettre en cause la production développée sur plusieurs mois. Une amplitude thermique de plus de 20 °C ou un vent chargé de particules de sable à une vitesse de plus de 70 km/h sont capables de condamner les efforts de toute une saison. De l'autre côté, l'éloignement de cette zone des grands marchés dans le nord est une autre contrainte qui accentue le risque lié aux prix volatils dans le marché.

Face à cette situation, les agriculteurs impliqués dans ce modèle ne peuvent envisager des stratégies d'exploitation de long terme. Cela explique l'orientation de certains agriculteurs dans les périmètres de la grande mise en valeur vers un modèle plus sécurisé, en particulier le

⁴⁷ Environ 14 €

modèle rentier en se rapprochant de l'État. La stratégie des jeunes venus de Sétif, que nous avons présenté dans ce chapitre, suit la même logique. Leurs pratiques reflètent des objectifs de court terme qui visent le maximum de gain sur une exploitation et le déplacement vers une nouvelle quand la fertilité des sols baisse.

À Adrar, le cycle de cette agriculture qualifiée par Amichi *et al.* (2015) de « *transitoire* » est plus court par rapport aux résultats obtenus dans d'autres zones du Sahara (Amichi *et al.*, 2015; Naouri *et al.*, 2015). L'ascension professionnelle des jeunes agriculteurs est plus difficile dans ce contexte. Il ne suffit pas d'accéder aux moyens de production pour réussir l'exploitation, il faut supporter des conditions plus dures et maîtriser d'autres étapes comme le transport des produits, ce qui génère de nouveaux coûts. Les trajectoires des agriculteurs allochtones sont restreintes dans le statut de locataire ou, dans les meilleurs des cas, le passage au statut de propriétaire, qui donne vite envie d'intégrer le modèle de l'agriculture rentière.

C'est dans le modèle de l'agriculture paysanne qu'on trouve plus des logiques de long terme. Les paysans oasiens gardent souvent l'objectif d'une agriculture d'autoconsommation dans les périmètres de mise en valeur. Cela n'empêche l'intégration de certaines pratiques entrepreneuriales quand les conditions sont favorables. Dans les exploitations de la petite mise en valeur, les agriculteurs commencent l'exploitation par la reproduction des pratiques de l'agriculture oasienne. Par la suite, et quand d'autres opportunités de marché s'ouvrent, ils intègrent des nouvelles pratiques mais sans prendre le risque de s'orienter complètement vers le nouveau modèle.

Les exemples étudiés permettent de conclure que c'est dans le modèle de l'agriculture paysanne que les oasiens d'Adrar ont montré plus de capacité de maîtrise et d'adaptation. Cela ne veut pas dire la reproduction du modèle oasien dans tous ses détails. Il s'agit de valoriser les savoir-faire *traditionnels* accumulés durant des siècles et les améliorer par l'adoption des nouveaux moyens et techniques *modernes* afin de donner naissance à des exploitations « *qui combinent tradition et innovation, sagesse paysanne et ouverture aux idées modernes* » (Côte, 2002). Les exemples étudiés dans ce chapitre ont montré que l'agriculture oasienne a permis de sauver l'agriculture saharienne qui ne peut être pratiquée sans greffer des logiques et des savoir-faire paysans. Dans l'autre sens, l'introduction des techniques « *modernes* », arrivées surtout avec les programmes de développement dans les nouveaux périmètres de mise en valeur, ont permis le maintien de l'agriculture oasienne.

Bien que le nombre d'expériences réussies ne semble pas important, en comparaison avec les superficies des terrains distribués et les moyens mis en place, les exemples analysés représentent un modèle de l'agriculture paysanne qui semble plus résiliente. Après les différentes expériences menées sur le terrain, il est évident que l'essor de l'agriculture saharienne ne se fait pas seulement par le développement technique. Le problème est plutôt de pratiques et stratégies, c'est bien une crise du modèle agraire. Ce n'est pas le pivot sophistiqué ni le forage qui débite 50 l/s qui peuvent surmonter l'aridité et faire la différence. C'est l'oasien, ses savoir-faire, ses pratiques et ses capacités d'adaptation qui peuvent le faire. L'agriculture paysanne peut assurer au moins les besoins des familles des agriculteurs. Elle est moins consommatrice et moins destructrice aux ressources en eau et en sol. Ce modèle semble capable, si on lui donne l'accompagnement nécessaire, de répondre aux ambitions de l'agriculture saharienne, au minimum sur le niveau local.

La réussite de l'agriculture saharienne à Adrar dépend de la capacité à mettre en place un modèle capable de répondre à la fois aux ambitions de production fixées par les programmes de développement et à la nécessité de la résilience économique des exploitations. Ce modèle doit permettre aux oasiens de greffer les outils modernes sur leurs logiques et pratiques séculaires (action collective, pratiques agricoles, institutions de gestion locale, ...).

Ces résultats montrent que l'hypothèse de Côte (2002) doit être nuancée pour le contexte d'Arar. Bien que la réussite de l'agriculture saharienne demande la disponibilité de la ressource en eau et d'une « *solide paysannerie* », le niveau de la réussite reste aussi dépendant du contexte local de chaque zone. Même pour l'ensemble que constitue le Sahara, il y a bien des différences à distinguer. Ainsi, les objectifs des programmes de développement agricole doivent être distingués selon les potentialités sociales, économiques et environnementales de chaque partie du Sahara. L'examen des conditions géographiques et historiques de différentes parties du Sahara montrera sans doute des différences intéressantes à prendre en considération. Ainsi, le développement de la culture du palmier dattier par exemple, ne peut être de la même manière ni pour les mêmes objectifs entre Adrar et le Bas Sahara (Biskra, El Oued, ...). Le climat dans cette dernière semble plus favorable pour la culture des variétés commerciales demandées sur le marché international. À Adrar par contre, c'est surtout les variétés sèches et moins exigeantes en irrigation qui sont les plus répandues⁴⁸. Ces dernières étaient historiquement commercialisées surtout dans les pays de sud de l'Algérie, le Mali et le

⁴⁸ Nous avons vu des oasiens qui ont essayé de cultiver la variété de Deglet noir à Adrar, mais cela n'a pas marché. Elle donne des dattes sèches et de mauvaise qualité.

Niger en particulier. En plus, le soutien à la culture du palmier dattier n'a pas été accompagné par une stratégie pour renforcer et développer le marché.

Un autre exemple d'un facteur qui fait la distinction entre les différentes parties du Sahara est celui de la démographie et la situation par rapport aux grands marchés. Au début de l'application de l'APFA, la population d'Adrar était d'environ 217 000 habitants en 1987, contre environ 430 000 habitants à Biskra. En plus, cette dernière se situe à 400 km d'Alger, le plus grand marché du pays. Adrar, par contre, se situe à 1400 km d'Alger et à plus de 2 000 km des marchés des pays voisins dans le sud. Encore plus, les conditions sociales et les traditions de travail dans le Touat, Gourara et Tidikelt font de l'action collective un moyen indispensable pour s'affranchir des conditions de l'aridité beaucoup plus extrême par rapport aux autres parties du Sahara. Comme nous l'avons montré dans les cas d'études, cette action collective ne s'arrête pas aux tâches qui demandent une grande force de travail, mais elle s'étend sur d'autres tâches, comme la commercialisation des produits, qui demandent de la coordination entre les oasiens.

En ce qui concerne la sécurité alimentaire du pays qui est toujours derrière les politiques agricoles de l'État, pour Bessaoud (2016b) « *Au niveau individuel et local, la souveraineté alimentaire implique le droit pour les individus, les communautés locales et les petits agriculteurs de définir et de mettre en œuvre leurs pratiques agricoles et alimentaires, de protéger leur environnement, la biodiversité et leurs ressources naturelles* ». Pour gagner le défi, les objectifs des programmes de développement de l'agriculture saharienne doivent prendre en considération les spécificités de chaque partie du Sahara. Dans le cas d'Adrar, le défi commence par répondre aux besoins alimentaires de la population locale en quantité et qualité. Tant qu'on n'a pas encore atteint cet objectif, l'ambition de la sécurité alimentaire du pays semble démesurée.

Chapitre IV:

Le Système Multi-Agents (SMA) « AISSA », un modèle à base d'agents intégrateur, multithématiques et multi-échelles du système oasien à foggara

Dans ce chapitre nous présentons nos travaux de modélisation intégrative. L'objectif est de construire un modèle qui intègre des concepts rattachés à différentes domaines thématiques afin d'articuler des dynamiques liées aux transformations sociales, économiques et environnementales (hydrogéologiques en particulier) dans les oasis de Touat, Gourara et Tidikelt. L'élaboration du modèle est basée sur les résultats de nos analyses présentées dans les chapitres précédents de la thèse. Il est paramétrisé en particulier pour se rapprocher d'un cas étudié sur le terrain, celui de l'oasis d'Ouled Aissa dans le Gourara. D'autres paramètres, dynamiques ont été inspirés de la littérature scientifique sur la même zone d'étude. Nous présentons et motivons notre démarche dans la première partie (introduction), ensuite nous présentons la méthode de modélisation utilisée et ses caractéristiques (la modélisation multi-agents), et enfin nous présentons le modèle construit (les entités, les variables, etc.).

1. Introduction :

L'analyse des transformations récentes dans le système oasien à foggara a suscité l'intérêt de plusieurs travaux de recherche dans des domaines différents. Étant donné les multiples facteurs intervenants dans les dynamiques actuelles de cet espace, ces recherches ont de plus en plus tendance à adopter des approches pluridisciplinaires, diachroniques et multiscalaire, notamment via l'utilisation de données de recensement, des enquêtes de terrain et le traitement des images satellite (Bellal *et al.*, 2016; Otmane & Kouzmine, 2013). Ces approches sont considérées intéressantes pour décrypter les interactions entre les facteurs de changement décrits par différents corpus de connaissance, issus de disciplines scientifiques différentes, voir même de type de connaissances différentes, intégrant aux connaissances scientifiques les savoirs locaux des oasiens et les données disponibles dans les administrations. Le système oasien est alors considéré comme un système complexe, dans le sens où il n'existe pas de discipline dédiée spécifiquement à son étude mais que l'étude de ce système et de sa durabilité nécessite la mobilisation de ces différents corpus de connaissances. La matière sur laquelle se base ce chapitre provient à la fois de notre propre travail d'analyse de données de terrain et des nombreuses approches pluridisciplinaires existantes qui ont déjà juxtaposées des analyses provenant de disciplines scientifiques différentes. La géographie étant par nature une science d'intégration et notre objectif est de commencer à ébaucher un cadre d'analyse intégré qui permette de mobiliser l'ensemble de ces différentes connaissances pour répondre aux différentes questions de recherche de notre thèse et plus généralement aux questions relatives à la durabilité des institutions du système oasien. Un tel cadre d'analyse doit pouvoir minimiser le risque de la dominance du point de vue du chercheur qui dirige l'étude, souvent submergé par son domaine de recherche. De fait, la géographie se pose clairement comme discipline intégrative et a apporté de nombreuses analyses riches sur notre question de recherche. Dans le cas des oasis à foggaras, on se base souvent sur l'analyse de données et des inventaires des administrations ou des enquêtes du terrain. Mais, dans les deux cas, l'approche ne permet pas toujours d'analyser les dynamiques sur des échelles temporelles et spatiales suffisamment fines pour observer et quantifier les détails nécessaires à la compréhension du phénomène étudié. L'utilisation des statistiques ou des images satellite sur l'évolution des superficies agricoles par exemple, peut servir à l'analyse quantitative de l'évolution entre deux dates différentes. Néanmoins, c'est la disponibilité de ces données et l'intervalle temporel des enregistrements qui conditionnent la précision et la fiabilité des résultats.

Si l'étude de données statistiques permet d'avoir des éléments quantitatifs sur les effets des dynamiques analysées, elle est, par contre, en raison de manque de données, moins capable d'expliquer et justifier le passage d'un état à l'autre et de montrer l'importance des interactions entre les différents facteurs étudiés. Ainsi, même en disposant d'un cadre d'analyse conceptuel riche, le chercheur est forcé de passer à une étape d'explication dans laquelle il doit postuler la valeur de certains facteurs sur lesquels il n'a aucune donnée. Dans un tel processus d'explication, il devient possible de minimiser voir d'omettre le lien entre ces facteurs dont les valeurs sont inconnues et les facteurs au sujet desquels le chercheur dispose de données. En effet, c'est à ce stade qu'il existe un risque de formuler une explication dans le langage donné par le domaine que l'on maîtrise le mieux et dans lequel on trouve le plus de facilités pour interpréter le phénomène étudié. Cela peut nuire à l'approche pluridisciplinaire ciblée au début de la recherche. Par exemple, pour expliquer l'abandon d'une foggara tarie et des parcelles qu'elle irriguait, plusieurs facteurs peuvent être évoqués, tous étudiés par des disciplines différentes et avec des méthodes différentes. Les reconfigurations et le changement des rapports entre les différentes catégories sociales, l'éclatement spatial par la mise en place de nouveaux périmètres de mise en valeur, rabattement de la nappe et effet de forages, les programmes de développement sont autant de facteurs qui interagissent les uns avec les autres et participent à cet abandon, mais il est clair que le domaine de connaissance de l'observateur va biaiser son analyse et qu'un économiste ne va pas expliquer l'abandon de la foggara de la même façon qu'un hydrogéologue. L'étude de cet exemple se fait usuellement en référence à deux moments essentiels : l'état initial avant les transformations étudiées (disant les années 1960) et l'état actuel. La comparaison entre les deux permet de mesurer ces grands changements : l'état de la foggara, l'état des parcelles du secteur traditionnel, les nouveaux terrains mis en valeur, les forages d'irrigation, les rabattements de la nappe d'eau souterraine, les reconfigurations sociales, l'activité dans de nouveaux secteurs économiques, ... Chacun de ces facteurs est sans doute une cause ou un résultat de changement, mais l'impact d'un facteur particulier n'est pas facile à démontrer car il est en combinaison avec un ou plusieurs autres facteurs. Même dans une approche pluridisciplinaire, il reste très compliqué d'étudier l'impact de cette combinaison de facteurs par des méthodes purement objectives qui consisteraient à recueillir des observations et à les combiner. Cette analyse dépendrait en effet des données disponibles qui ne sont pas forcément les plus appropriées pour vérifier les hypothèses de la recherche.

De manière générale, une telle approche objective est particulièrement difficile lorsque la nature de l'objet de recherche ne permet pas de réaliser des expériences pour tester des hypothèses ou observer les dynamiques en temps réel. Contrairement à l'étude de certains phénomènes physiques, dont on dispose souvent des approches et des méthodes expérimentales qui rendent possible la vérification des hypothèses par des protocoles en laboratoire par exemple, ces études deviennent plus difficiles quand on intègre des phénomènes sociaux moins quantifiables par ces expériences.

C'est pourquoi nous nous plaçons dans ce chapitre dans une approche constructiviste dans laquelle nous construisons un modèle de simulation qui va nous permettre à la fois de donner les bases d'un cadre d'analyse transdisciplinaire et nous offrir l'opportunité de tester *in silico* des hypothèses sur des phénomènes non expérimentables et difficilement observables dans le monde réel. La simulation d'un modèle est un moyen « *pour étudier des phénomènes qui ne sont pas accessibles à l'expérience ... La simulation est un équivalent épistémique de l'expérience dans le sens où elle est un moyen différent d'acquérir la même information, c'est-à-dire, d'apprendre ce que nous aurions appris au moyen de l'expérience si l'expérience avait été possible* » (Peschard, 2013). Un modèle informatique permet de mettre en place une sorte de « *laboratoire virtuel* » dans lequel on essaye de créer des conditions qui se rapprochent de celles de la réalité. Selon Minsky (1968) « *pour un observateur B, un objet A* est un modèle d'un objet A dans la mesure où B peut utiliser A* pour répondre aux questions qui l'intéressent sur A* ». La modélisation permet donc d'apporter des réponses aux questions sur des objets d'étude sans forcément faire des expériences sur ces objets eux-mêmes. Selon Banos & Sanders (2013) : « *les systèmes complexes peuvent être utilement explorés par simulation, via des modèles simples* ».

Pour l'étude des transformations des oasis de Touat, Gourara et Tidikelt, la revue de la littérature montre que les recherches intéressées à cette espace adoptent des approches différentes. Elles sont parfois très disciplinaires (Marouf, 2017; Ould Baba Sy, 2005; Petersen, 2014), et d'autres fois pluridisciplinaires (Bellal *et al.*, 2016; Otmane, 2010) principalement sur de grandes échelles, mais aucune ne mobilise à notre connaissance de modèle inter- ou transdisciplinaire. Les approches pluridisciplinaires existantes permettent donc de montrer les facteurs de changement dans le système oasien à foggara, mais sans pouvoir donner la possibilité de vérification qualitative et quantitative des interactions entre ces facteurs.

La nouvelle question de recherche apportée par ce chapitre est donc la suivante : la modélisation constituera-t-elle un bon outil afin de rendre explicite les interactions et les articulations entre les différentes composantes physiques, sociales et économiques du système oasien à foggara ?

Le choix entre les différents types de modélisations : modèle mathématique, modèle des systèmes dynamiques, modèle économique, modèle multi-agent, modèle statistique ..., doit se baser sur la possibilité d'intégrer des processus de natures et d'importances différentes. Selon Bousquet F *et al.* (1993) « *la modélisation est considérée comme un moyen de synthétiser les connaissances. Chaque discipline met en avant son propre modèle mais la modélisation de la connaissance pluridisciplinaire doit représenter différents concepts et simuler l'interaction entre différentes dynamiques* ». Le choix d'un type de modélisation pour étudier le système oasien à foggara doit permettre d'intégrer les différents concepts issus des domaines de la sociologie, l'économie, l'hydrogéologie, la géographie ..., et sur plusieurs échelles. En tant que géographe, et vu la nature de l'objet d'étude de cette thèse, la représentation de la dimension spatiale du système prend une place primordiale dans le choix de l'approche de modélisation. C'est pour ces raisons, parmi d'autres (*cf.* prochaines section de ce chapitre), que nous avons choisi d'élaborer un système Multi-Agents (SMA).

L'appel à l'outil multi-agents se veut une approche intégrative pour l'étude du système oasien à foggara en tant que socio-écosystème. Pour Duboz & Müller (2013) : « *On appelle socio-écosystème un système pour lequel on s'intéresse à la fois aux dynamiques biophysiques, aux dynamiques sociales et à leurs interactions* ». Selon Ferber (1995) : « *en mettant l'accent sur les interactions et plus exactement en analysant les systèmes d'interactions qui existent entre les agents, que les systèmes multi-agents (ou SMA) se distinguent des approches systémiques plus classiques en prenant le parti de l'émergence et en considérant que l'action et l'interaction sont les éléments moteurs de la structuration d'un système dans son ensemble* ». Dans notre cas d'étude, cela se fait dans une première étape par l'intégration des aspects qualitatifs afin de décrire les comportements et les stratégies de ces entités, et permettre par la suite d'inclure plus d'éléments quantitatifs en vue de se rapprocher d'un cas empirique précis. Selon Manzo (2014) : « *la nouveauté de la simulation multi-agents consiste à insister sur sa flexibilité. Il s'agit de la flexibilité du point de vue des détails et des niveaux d'analyse qu'elle permet de représenter et de mettre en relation, mais aussi de la flexibilité en termes de formalismes que l'on peut faire coexister au sein d'une même simulation multi-agents* ». L'outil multi-agent permet enfin d'avoir des résultats de simulations qui donnent la possibilité

de mesurer quantitativement l'ampleur des phénomènes étudiés et vérifier les hypothèses formulées autour d'une entité, mais toujours en interaction avec le reste des dynamiques du modèle et des stratégies des autres agents.

Duboz & Müller (2013) estiment que : « *Les modèles sont maintenant utilisés comme des outils d'aide à la représentation, à la réflexion, à la décision et à la concertation. Cet usage du modèle devient le support du dialogue interdisciplinaire* ». Ainsi, nous émettons l'hypothèse que le modèle multi-agents constituera un bon support de débat entre des chercheurs, des acteurs ou même des oasiens ayant des points de vue et des perceptions différents sur l'explication des dynamiques dans le système oasien à foggara. Le modèle permettra de mieux mettre en place une approche intégrative et de rapprocher les différents points de vue en les intégrant dans un seul SMA qui mette en interaction les processus décrits par les différentes disciplines. Plus précisément, on suppose que cet outil permet de mieux observer, analyser et comprendre certains processus et l'importance de différentes composantes du système oasien à foggara. On suppose également que cela permettra au final de rapprocher les points de vue de différents acteurs impliqués. Les objectifs de l'élaboration du modèle sont :

- a- faire une représentation du système issue de l'analyse effectuée dans les chapitres précédents de la thèse ;
- b- faire une analyse rétrospective des dynamiques du système oasien à travers la reproduction des grandes dynamiques observées au cours des cinq dernières décennies ;
- c- construire un outil intégrateur qui permet de combiner les différents facteurs, d'observer les résultats qualitatifs et quantitatifs des simulations et de rapprocher les points de vues et les perceptions des scientifiques et des acteurs du terrain par rapport aux dynamiques du système oasien à foggara ;

2. Système Multi-agents (SMA) et Modélisation à Base d'Agents (MBA) ?

Manzo (2014) considère que : « *un système multi-agents est une collection d'objets définis par leurs attributs et règles de fonctionnement qui échangent des informations s'influençant les uns les autres* ». Un système multi-agents représente les *interactions* entre des *agents* en relation avec un *environnement* physique (figure 15). Un agent peut être un humain, un animal, un composé de plusieurs agents, une société ..., situé ou pas sur un environnement. Il a la capacité de communiquer, il a une perception par rapport aux objets de son

environnement et il est capable de prendre des décisions pour répondre à ses objectifs. Selon Ferber (1995) « On appelle système multi-agent (ou SMA), un système composé des éléments suivants:

1. Un environnement E , c'est-à-dire un espace disposant généralement d'une métrique.
2. Un ensemble d'objets O . Ces objets sont situés, c'est-à-dire que, pour tout objet, il est possible, à un moment donné, d'associer une position dans E . Ces objets sont passifs, c'est-à-dire qu'ils peuvent être perçus, créés, détruits et modifiés par les agents.
3. Un ensemble A d'agents, qui sont des objets particuliers ($A \subset O$), lesquels représentent les entités actives du système.
4. Un ensemble de relations R qui unissent des objets (et donc des agents) entre eux.
5. Un ensemble d'opérations Op permettant aux agents de A de percevoir, produire, consommer, transformer et manipuler des objets de O .
6. Des opérateurs chargés de représenter l'application de ces opérations et la réaction du monde à cette tentative de modification ».

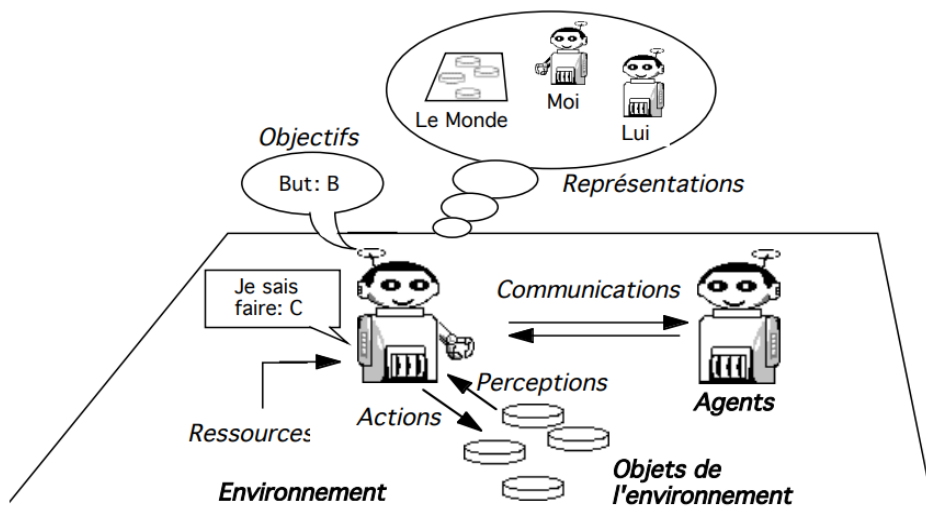


Figure 15 : Représentation imagée d'un agent en interaction avec son environnement et les autres agents (Ferber, 1995)

La modélisation Modélisation à Base d'Agents (MBA) consiste à concevoir d'un modèle qui respecte le paradigme (i.e. la façon de voir le monde) de système multi-agents tel que décrit dans le paragraphe précédent. La MBA est mobilisée par de nombreux champs disciplinaires qui s'approprient cette méthode de manière légèrement différente et en utilisant des terminologies et des méthodes de spécification différentes. Il existe notamment de nombreuses plateformes de modélisation et de simulation multi-agents qui proposent chacune

différents méta-modèles (i.e. des façons différentes de décrire les agents et l'environnement dans lesquels ils évoluent) (Treuil *et al.*, 2008). Notre modèle a été implémenté sous la plateforme de modélisation et de simulation à base d'agents CORMAS (Common Pool resources Multi-Agents Systems) (Bommel *et al.*, 2015) conçue spécifiquement pour la construction et l'utilisation participative de modèles dédiés à la gestion des ressources naturelles. Il est donc basé *in fine* sur le méta-modèle de CORMAS. Dans ce chapitre nous le présentons toutefois en essayant de nous abstraire de ce méta-modèle et en le considérant comme un modèle qui respecte le paradigme SMA. Pour cette raison nous utiliserons de manière équivalente les termes de SMA, ABM et « modèle multi-agents ».

2.1. Niveaux de représentations (échelles), dimension spatiale et flexibilité d'un SMA :

L'inscription de cette thèse dans la discipline de la géographie et la nature de son objet d'étude rend la dimension spatiale un élément intéressant à prendre en considération. La modélisation multi-agents permet de bien intégrer l'espace et de lui attribuer l'importance nécessaire pour observer les différents phénomènes. Selon Bousquet & Denis (1999) :

« Lorsque l'objet de l'analyse est les changements spatiaux liés à la gestion des ressources, deux approches sont possibles. (1) On peut s'intéresser aux «acteurs» du territoire (éléments) et aux relations qu'ils entretiennent avec l'espace et les ressources qui s'y localisent (interactions). Dans cette approche, l'espace est perçu comme le support des interactions entre les sous-systèmes naturels et sociaux qui produisent de la différenciation spatiale. L'organisation spatiale résulte de l'impact des interactions entre acteurs sur l'espace, agissant lui-même comme une contrainte dans les comportements. (2) On peut également s'intéresser aux entités spatiales (éléments) et aux relations qu'elles entretiennent avec les autres entités spatiales du système (interactions). Dans cette deuxième approche l'organisation spatiale est perçue comme le produit des interactions entre les entités spatiales, celles-ci étant liées au comportement des acteurs »

Dans cette étude, c'est la première approche qui nous intéresse. L'espace est pris comme support aux interactions entre les oasiens (unité sociale) et leur environnement naturel (ressource en eau, parcelles agricoles) et économique (opportunité de travail et programmes de mise en valeur agricole). En parallèle, cette approche permet d'observer les changements spatiaux (superficie agricole, état de la nappe d'eau souterraine, situation des foggaras, état

des parcelles, ...) qui sont le résultat des interactions sociales, économiques et environnementales.

La MBA permet aussi d'adopter une démarche multiscalaire. Elle permet de passer par plusieurs échelles des dynamiques et d'observer les interactions entre ces échelles. D'après Banos & Sanders (2013), elle intègre trois niveaux géographiques :

- a- « *Le niveau microgéographique, tout d'abord, désigne celui des individus qui pratiquent l'espace au quotidien ... Ménages, familles, entreprises relèvent généralement aussi de ce niveau ... accordant une large place au géoréférencement, et à l'inscription spatiale du phénomène étudié* ».
- b- « *Le niveau mésogéographique fait référence quant à lui aux unités spatiales. Un ensemble d'unités spatiales fait système si le jeu des échanges entre elles contribue à sa dynamique* ».
- c- « *Le niveau macrogéographique, ... Il s'agit de l'enveloppe spatiale et/ou ensembliste des entités spatiales de niveau inférieur considérées* »

Ces trois niveaux se retrouvent dans notre modèle et permettent de mettre en relation les dynamiques observées dans le système oasien à différent niveaux : 1- le niveau microgéographique des propriétaires des parts d'eau et leurs familles, 2- le niveau mesogéographique des différents secteurs de l'oasis qui évoluent spatialement et sont en interaction avec une nappe souterraine avec laquelle ils interagissent (les secteurs *traditionnel* et *moderne* de l'oasis, les ensembles de parcelles irriguées par les différentes foggaras, etc.), 3- le niveau macrogéographique qui constituent soit des scénarios de forçage correspondant à des dynamiques régionales (liées aux politiques agricoles, les nouvelles offres d'emploi, les impacts globaux des surexploitations de la nappes d'eau souterraines, ...), soit aux sorties agrégés du modèle calculés au niveau de l'oasis (niveau de dégradation moyen des parcelles de l'oasis, niveau de dégradation moyen des foggaras de l'oasis, etc.). À noter que dans notre cas le modèle élaboré présente aussi une dynamique spatiale en hauteur puisque le niveau des dynamiques sociales, économiques et agricoles a lieu en surface et que l'hydrodynamique présente une troisième dimension en profondeur. Nous verrons dans les prochaines sections de ce chapitre que différents points de vues sont possibles qui représente soit l'état de la nappe, soit l'état de surface. Ce type de modèles est développé « *dans une perspective multiniveau* » (Banos & Sanders, 2013). Le choix des niveaux de représentation doit être en relation avec les objectifs de la modélisation et le phénomène étudié. « *L'objectif est de*

comprendre ce phénomène, d'en expliquer l'existence, l'apparition, l'évolution, et éventuellement la disparition » (ibid).

L'autre avantage de la MBA, elle permet l'analyse des phénomènes sur des échelles *mésogéographique* et *macrogéographique* qui résultent des dynamiques implémentées sur une échelle *micro*. « *Dans le contexte d'un système multi-agents, simuler signifie appeler de manière répétée chaque agent pour qu'il exécute les règles qui le définissent. Au fil de ces itérations, les résultats agrégés du comportement des agents peuvent être déterminés pas à pas et être réinjectés dans le comportement de ces mêmes agents. C'est ainsi, par un enchaînement dynamique de boucles reliant différents niveaux d'abstraction, que la simulation multi-agents permet de remonter du comportement des entités de « bas » niveau à celui de la régularité macroscopique que l'on veut reproduire » (Manzo, 2014). La MBA permet d'explicitier l'importance des dynamiques locales sur le fonctionnement et l'évolution générale du système, « l'enjeu est alors de construire le modèle le plus simple possible capable de reproduire, par ses résultats de simulation, la complexité du phénomène modélisé » (Banos & Sanders, 2013).*

D'après Manzo (2014) « *la nouveauté de la simulation multi-agents consiste à insister sur sa flexibilité. Il s'agit de la flexibilité du point de vue des détails et des niveaux d'analyse qu'elle permet de représenter et de mettre en relation, mais aussi de la flexibilité en termes de formalismes que l'on peut faire coexister au sein d'une même simulation multi-agents »*. Dans le modèle élaboré cet avantage a permis d'intégrer des formalismes issus de domaines théoriquement très éloignés : la sociologie (reconfigurations sociales, évolution des familles, ...), l'hydrogéologie (dynamiques des eaux souterraines), la géographie (organisation spatiale et extensions), ... Comme nous le verrons dans les prochaines section de ce chapitre, le niveau d'analyse varie entre l'individuel, représenté par le simple propriétaire d'une petite parcelle, et le global représenté par l'ensemble de l'oasis, ou encore le régional pour la nappe d'eau souterraine.

2.2. Les systèmes multi-agents comme outil pour l'étude des systèmes socio-écologiques :

L'utilisation des SMA pour étudier les interactions entre l'environnement et la société est un sujet bien documenté (Bousquet & Le Page, 2004). De nombreuses études montrent que cette utilisation se fait par des approches différentes qui visent dans l'ensemble à décrypter la complexité des systèmes étudiés afin de simplifier leur lecture et mettre en explicite les différentes interactions entre les membres des sociétés, qui réagissent individuellement ou en

réseau, avec leur environnement (*ibid*). Selon Barreteau & Le Page (2011) et Barreteau *et al.*, (2003), la simulation sociale⁴⁹ peut être utilisée à travers l'approche participative⁵⁰ pour deux fins distinctives : a) développer des connaissances sur les environnements complexes, et également b) supporter le processus de la prise collective de décision entre les acteurs dans les situations complexes. Dans ce type de simulations « *les scientifiques partagent le pouvoir de contrôle du processus avec les non-scientifiques* » (Barreteau & Le Page, 2011). Comme exemple de ce type de modélisation, l'approche Commod (Companion Modelling)⁵¹ est inscrite dans la perspective d'inclure les acteurs du terrain dans les différents stades de modélisation (Barreteau *et al.*, 2003).

3. Le modèle Aissa : structure, théories de base et principe de fonctionnement :

Le modèle élaboré et appelé « AISSA » a été développé d'une manière à représenter le système oasien à foggara dans le Touat, le Gourara et le Tidikelt. Il reproduit les dynamiques observées dans une oasis précise qui est celle d'Ouled Aissa. Ainsi, les résultats des enquêtes et des analyses réalisées sur cette oasis ont été traduits sous forme de stratégies et de comportement d'agents. Le modèle reproduit également l'organisation spatiale de cette oasis située sur les lisières sud du grand erg occidental à 70 km au nord-est de la ville de Timimoun. Le modèle a été utilisé comme support pour discuter des dynamiques de l'espace oasien avec des chercheurs et des ingénieurs du terrain issus de domaines différents. Il a été utilisé également pour discuter du même sujet avec les autochtones de l'oasis d'Ouled Aissa. Enfin, le modèle a été exploité pour faire des simulations et avoir des résultats quantitatifs par un plan d'expérience élaboré selon des hypothèses formulées sur certains paramètres.

Le modèle a été construit autour de ma question de thèse sur les continuités et les transformations sociales, économiques et environnementales qui mènent à un abandon, au moins perçu, des systèmes oasiens à foggaras. Il reproduit les différentes dynamiques observées au cours des cinq dernières décennies dans l'oasis d'Ouled Aissa entre les deux secteurs, oasien traditionnel et le périmètre de mise en valeur. Le modèle décrit également les dynamiques constatées dans cette oasis autour des foggaras et des puits d'irrigation dans les deux secteurs (*cf.* Chapitre III).

⁴⁹ Utilisation de la simulation pour étudier et discuter des problèmes de la société.

⁵⁰ C'est une approche de recherche dans laquelle les acteurs du terrain (populations locales et décideurs) sont inclus.

⁵¹ La modélisation comme outil d'accompagnement : <https://www.commod.org/>

3.1. Matériel et méthodes spécifiques mobilisés :

Le modèle de l'oasis à foggara a pour objectif de construire un outil qui intègre les différents facteurs et dynamiques présent dans les dynamiques du système. On émet l'hypothèse que cette approche intégrative permettra de représenter la pluridisciplinarité d'une manière plus concrète et approfondie. On suppose également qu'elle permettra de combiner les différentes disciplines et de mettre en explicité et analyser certaines interactions difficiles à observer avec une approche pluridisciplinaire classique. Le processus de développement du modèle est en lui-même un outil d'exploration du système étudié, car il exige l'acquisition d'un minimum de connaissance et de compréhension sur les caractéristiques, les stratégies et les comportements de chaque entité modélisée. En plus de l'analyse des résultats des simulations, la présentation et la discussion du modèle avec d'autres chercheurs et les différents acteurs du terrain permettra de soulever certains aspects essentiels pour l'analyse du système oasien ou de soulever les dynamiques qui demandent d'être mieux inspectés sur le terrain et analysés afin d'améliorer le modèle.

Quatre sources ont été exploitées afin de mettre en place le modèle conceptuel et développer le modèle : la littérature scientifique, le méta-modèle MAIA, un prototype de modèle de la nappe d'eau souterraine et les enquêtes du terrain.

3.1.1. La littérature scientifique :

Elle a permis de cerner les dynamiques globales dans le système. Pour chaque entité, la consultation des travaux disciplinaires a permis de comprendre son mode de fonctionnement et ses dynamiques clés. Sur les dynamiques sociales et économiques, plusieurs chercheurs ont fait des analyses et ont montré certains aspects et dynamiques dans la zone des oasis à foggara (Bellal *et al.*, 2016; Bendjelid, 2011; Bendjelid *et al.*, 2004; Bendjelid *et al.*, 1999; Bisson, 2003; Cheylan, 1990; Côte, 2002; Daoudi *et al.*, 2015; Dubost & Moguedet, 1998; Guillermou, 1993; Hadeid *et al.*, 2018; Marouf, 2017; Otmane & Kouzmine, 2013; Remini & Achour, 2013).

D'autres travaux décrivent l'hydrogéologie de la zone. Les auteurs ont essayé de faire des estimations sur les potentialités des nappes aquifères, celle du Continental Intercalaire (CI) en particulier en relation avec les exploitations par les foggaras et les forages sur de grandes échelles (Gonçalvès *et al.*, 2013; Oss., 2003a, 2003b, 2003c; Ould Baba Sy, 2005; Petersen, 2014; Reminib & Achour, 2016; Unesco, 1972). Certains paramètres du modèle ont été pris aussi de la littérature ou des statistiques des administrations de l'État. Pour calibrer le modèle, les valeurs de certains paramètres hydrogéologiques et socioéconomiques ont été relevées de

la littérature et des données statistiques issues des différents services techniques concernés sur le terrain.

3.1.2. Le prototype du modèle de la nappe d'eau souterraine :

C'est un modèle de nappe souterraine qui a été couplé au modèle des dynamiques des propriétaires et des familles de l'environnement superficiel. La nappe modélisée couvre le même espace du modèle et son unité de base est l'hydro-cellule (HydroCell). Une hydro-cellule est composée de 16 cellules (4x4). La discrétisation spatiale a été faite après des essais avec des valeurs différentes. On a choisi la valeur qui permet de reproduire le comportement hydrogéologique général de la nappe aquifère et de minimiser le temps de calcul.

La première version prototype du modèle de la nappe aquifère a été implémentée par Bommel *et al.* (2018) sur la plateforme CORMAS⁵². Elle suit la démarche d'implémentation proposée par Ravazzani *et al.* (2011) et basée sur le paradigme de l'automate cellulaire. Dans leur article, (Ravazzani *et al.*, 2011) proposent une démarche à suivre pour reproduire les mêmes dynamiques et arriver aux mêmes résultats qu'on peut avoir avec la plateforme de modélisation hydrogéologique MODFLOW⁵³. Cette dernière permet de modéliser l'hydrodynamique souterraine, dans nappes libres, en trois dimensions par des équations différentielles et la loi de Darcy et permet le calculer de volume d'eau renvoyé, ou reçu, par chaque hydro-cellule en comparaison avec l'état de ses quatre hydro-cellules adjacentes (figure 16).

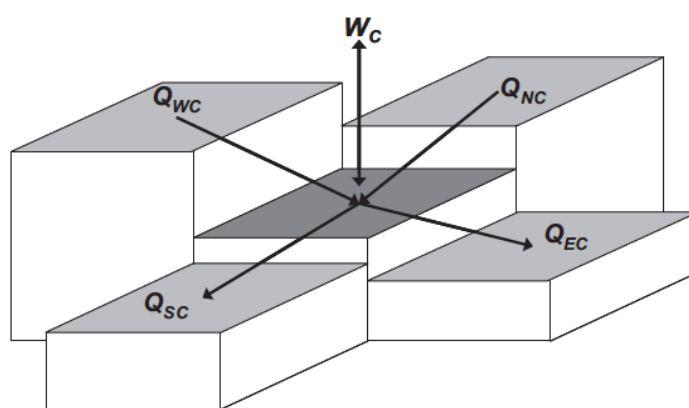


Figure 16 : calcul du flux d'eau de la cellule centrale par rapport aux quatre cellules adjacentes

⁵² Cette version démo est fournie avec la plateforme de modélisation multi-agents CORMAS : <http://cormas.cirad.fr/>

⁵³ <https://water.usgs.gov/ogw/modflow/>

(Q : flux, W_c : flux total, s'il est positif, la cellule reçoit de l'eau sinon elle renvoie, WC : cellule ouest, EC : cellule est, NC : cellule nord, SC : cellule sud) (Ravazzani et al., 2011)

$$W_C = Q_{WC} + Q_{NC} - Q_{SC} - Q_{EC}$$

La contrainte principale pour l'implémentation du modèle aquifère avec l'approche de l'automate cellulaire est ses discrétisations spatiale et temporelle. Le passage d'un pas du temps t au pas du temps $t+1$ risque de ne pas reproduire les mêmes dynamiques que dans la réalité. La quantité d'eau qui passe par exemple d'une hydro-cellule A à une hydro-cellule B pour un pas du temps de 10 jours peut générer des phénomènes étranges à la réalité, soit un volume de 10 jours qui arrive en une seule fois et pour les 9 jours intermédiaires le volume reçu est nul. Pour résoudre ce problème, Ravazzani *et al.* (2011) ont testé la méthode proposée par Ponce *et al.* (2001) afin de trouver la valeur minimale du pas de temps qui assure la stabilité et la convergence. La formule proposée met en relation la discrétisation temporelle de la simulation avec la discrétisation spatiale du modèle de la nappe aquifère.

$$\Delta t = (\Delta s)^2 / 4\nu \quad \text{Où :}$$

Δt : le pas du temps, Δs : la taille de l'hydro-cellule, ν : la diffusivité hydraulique de l'aquifère.

$$\nu = T/S_y \quad \text{Où :}$$

T : la transmissivité, S_y : le rendement spécifique

Selon Roache (1972) la valeur du nombre de Reynolds : $D = 4\nu * \Delta t / (\Delta s)^2$ correspond au ratio de diffusivité physique et numérique d'une cellule, et la stabilité du modèle demande un $D=1$. Ravazzani *et al.* (2011) ont confirmé cette valeur par des testes avec des valeurs de $D=(0.125, 0.25, 0.5, 1)$. Le teste a été réalisé sur un aquifère de dimensions de 1x1 km. À l'initialisation, un espace vide de 0.5x0.5 km a été laissé au milieu de l'aquifère. Avec les différentes valeurs de D , on observe à quel pas du temps le point du centre de la partie vide auras la même valeur piézométrique que l'ensemble de l'aquifère. Bommel *et al.* (2018) ont reproduit le même test (figure 17) avec le modèle implémenté sur la plateforme CORMAS (figure 18).

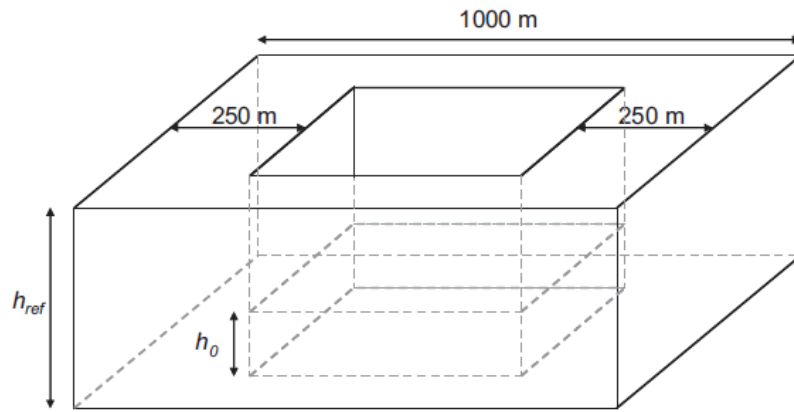


Figure 17 : espace de test de stabilité et de convergence du modèle réalisé par Ravazzani et al. (2011)

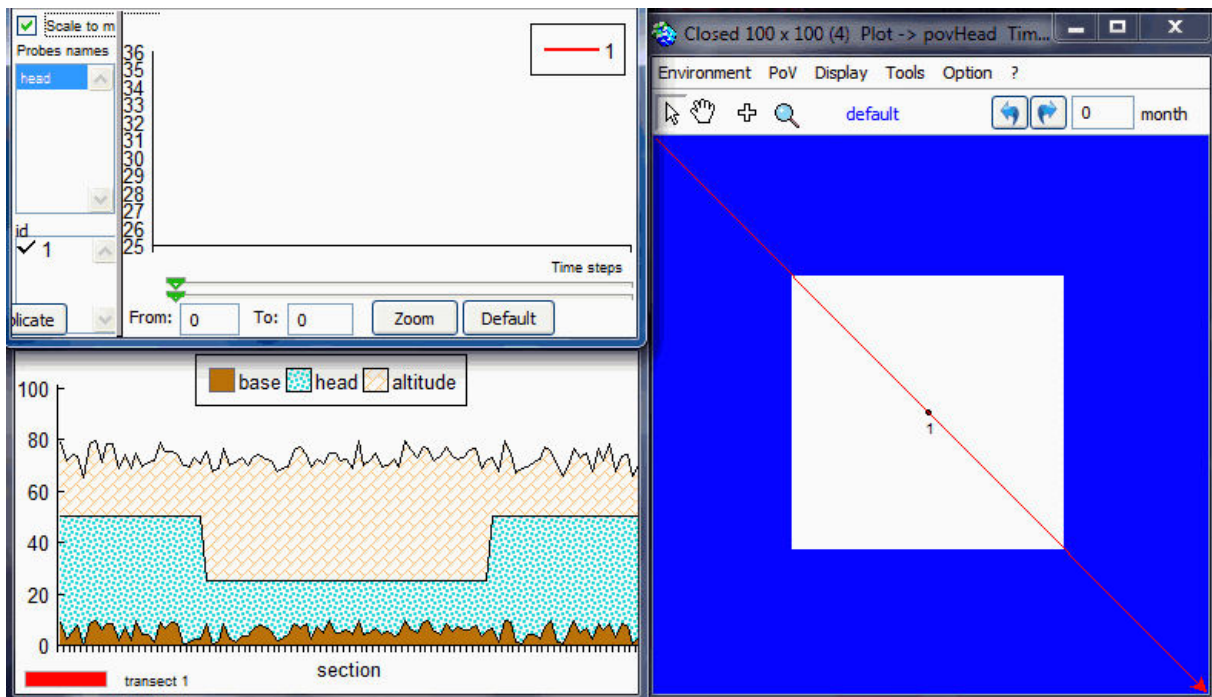


Figure 18 : espace de test de stabilité convergence réalisé par (Bommel Pierre. et al., 2018) sur CORMAS

Dans le modèle AISSA, chaque hydro-cellule a les caractéristiques hydrogéologiques et topographiques suivantes : l'altitude de la surface topographique, le niveau piézométrique, le niveau du substrat de l'aquifère, le coefficient d'emménagement et la conductivité hydraulique. La dynamique de la nappe est décrite par la loi de Darcy. Dans chaque pas du temps donné, l'hydro-cellule calcule la possibilité de recevoir ou de transférer l'eau avec les quatre cellules adjacentes en relation avec les prélèvements effectués par les foggaras et les forages.

Le modèle de nappe a été calibré avec des valeurs de paramètres pour reproduire des conditions proches de celles des oasis situées sur les lisières sud du grand erg occidental en général. Pour l'oasis d'Ouled Aïssa, on n'a pas trouvé les données nécessaires pour calibrer le modèle. Les valeurs des paramètres hydrogéologiques ont été ainsi rapprochées à celles trouvées dans certaines études générales de la zone.

3.1.3. Le méta-modèle MAIA :

Il formalise les composantes du cadre d'analyse et de développement institutionnel (IAD) proposée par Ostrom (2005). Le méta-modèle MAIA (Ghorbani, 2013; Ghorbani *et al.*, 2013; Ghorbani *et al.*, 2014) est basé sur l'analyse institutionnelle. Les institutions sont décrites selon la syntaxe ADICO proposée par Crawford & Ostrom (1995). Dans la phase de conceptualisation du modèle AISSA, MAIA a servi à décrire les règles et les stratégies des agents des entités sociales, et les mettre en relation avec leur environnement physique selon leurs objectifs. Pour l'implémentation, les institutions choisies ont été intégrées directement dans les comportements des agents sans passer par une entité institutionnelle indépendante.

La syntaxe ADICO permet de classer les institutions sous trois catégories : les règles, les normes et les stratégies. Son acronyme désigne :

- Attribut : il sert à distinguer la personne à qui s'applique l'institution ;
- Déontique : c'est pour représenter une des trois modalités suivantes : obligation, interdiction et permission ;
- Objectif (the Aim) : il décrit l'action ou le résultat attendue et assignée par la déontique ;
- Condition : elle sert à définir quand, où, comment et à quoi l'attribut est obligé, interdit ou permis ;
- Sinon (Or else) : c'est la sanction appliquée dans le cas de non respect de la règle.

Pour faire la différence entre les trois types d'institutions, il faut se référer à cette syntaxe et vérifier la présence, ou pas, de chacune de ses parties (tableau 4). Pour mettre en explicite cet aspect institutionnel en relation avec les autres entités du modèle, MAIA demande de remplir plusieurs tableaux qui font des liens directs entre les agents, leurs rôles, les institutions qu'ils doivent prendre en considération, leur environnement physique, ... (annexe 1).

Tableau 4 : exemple des institutions selon la syntaxe ADICO

Institution	Attribut	Déontique	Objectif	Condition	Sinon
Règle	Propriétaire	doit	participer à l'entretien de la foggara	qui irrigue sa parcelle	sa parcelle va recevoir moins d'eau
Norme	Famille	Peut	Installer un forage	Avoir des moyens Parcelle non satisfaite	X
Stratégie	Propriétaire	X	Cherche une fonction	N'a pas de fonction	X

Le méta-modèle MAIA est composé de 5 structures (figure 19), chacune représentée dans le modèle AISSA :

- La structure collective : elle est formée des agents composés représentée par les grandes familles et des agents individuels qui sont les propriétaires des parcelles agricoles et des parts d'eau (*cf.* section sur les entités sociales du modèle) ;
- La structure physique : elle est représentée par les secteurs (traditionnel, périmètre de mise en valeur, extension de l'oasis, ...), les parcelles agricoles, les foggaras, les forages et la nappe d'eau souterraine (*cf.* section sur les entités spatiales du modèle) ;
- La structure constitutionnelle : elle représente les rôles des agents composés et individuels, les règles, les normes et les stratégies mises en place pour gérer le système. Dans le modèle AISSA, les règles sont intégrées directement dans les comportements des agents et non pas par une structure à part (*cf.* annexe 1)
- La structure opérationnelle : c'est l'arène d'action où les dynamiques sont organisées sous forme de situations d'action, de plans d'action et d'entités d'action. Dans le modèle AISSA cela se traduit par les comportements agents, les actions organisées pour chaque classe (entité) et l'ensemble des étapes intégrées de manière à organiser les actions entre les différentes entités (*cf.* digrammes de séquence) ;
- La structure évaluative : elle est représentée en pratique par le modélisateur qui suit et évalue le fonctionnement du modèle et son évolution. Cette structure se traduit dans le modèle AISSA par les différents enregistrements réalisés sur les simulations faites pour tester les hypothèses formulées sur autour du modèle ;

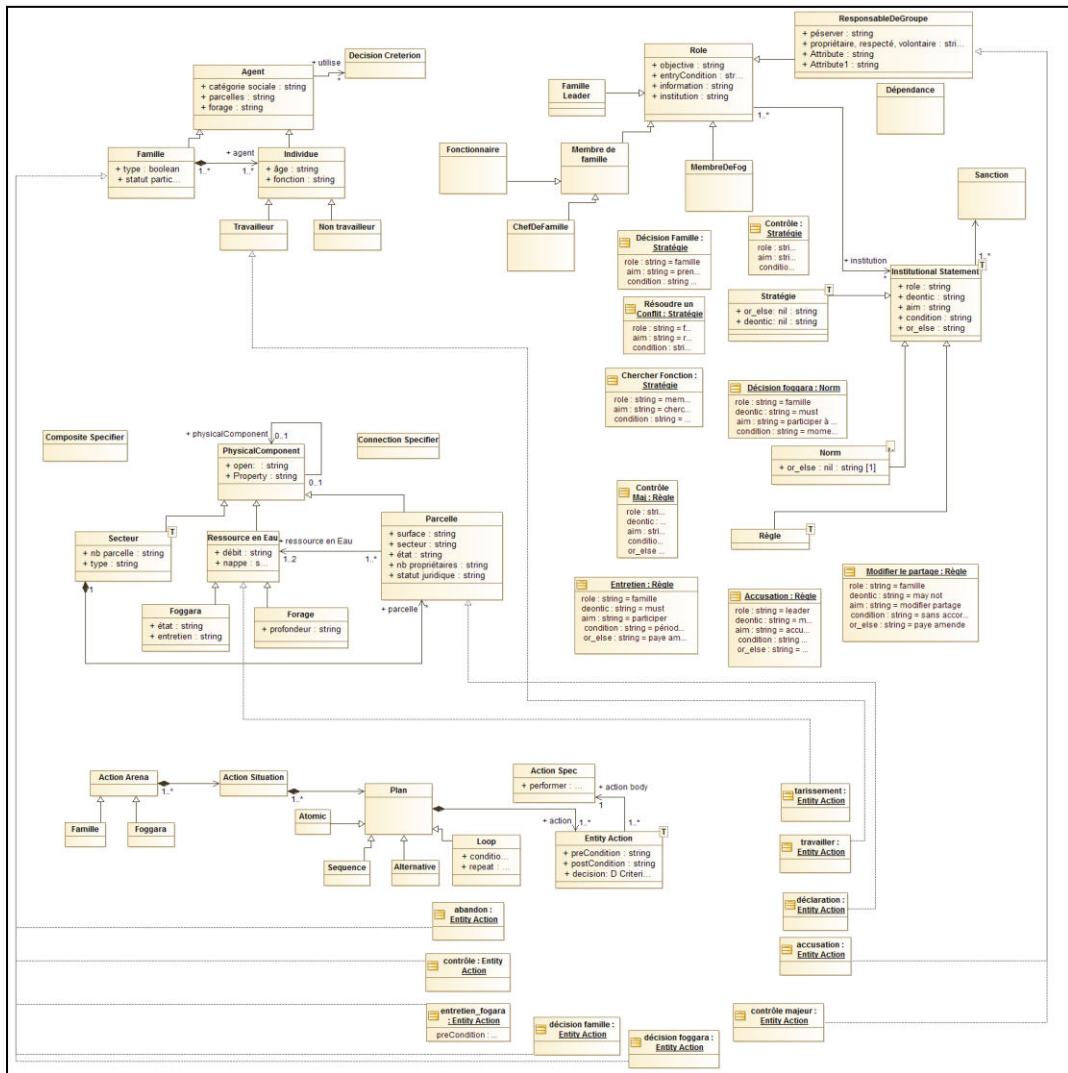


Figure 19 : diagramme de classe du méta-modèle MAIA

3.1.4. Les enquêtes du terrain :

Le modèle AISSA a été conçu de manière à pouvoir représenter les différents cas de figure présents sur le terrain. Néanmoins, il est rapproché plus sur le cas de l'oasis d'Ouled Aissa. La localisation des objets physiques sur l'espace a été implémentée de manière à avoir la même organisation spatiale de l'oasis. Les enquêtes élaborées (cf. chapitre III) ont été exploitées pour relever les stratégies des agents par rapport à leurs parcelles, l'organisation des familles et leur évolution, le morcèlement des parcelles, les stratégies d'exploitation des parcelles entre les deux secteurs traditionnel et moderne et les logiques de participation aux entretiens des foggaras ou d'installation des forages individuels ou collectifs. Le modèle de décision des propriétaires et des familles est basé sur les résultats de ces enquêtes (Annexe 2). Ces dernières ont servi aussi à définir certains paramètres d'initialisation du modèle et de sa simulation (cf. état initial du modèle).

3.2. *Question posée au modèle :*

Comme nous l'avons présenté dans la problématique et les objectifs dans la première section de ce chapitre, nous visons la construction d'un outil intégrateur pour mettre en articulation les différents facteurs intervenants dans les dynamiques sociales, économiques et environnementales dans le système oasien à foggara durant les cinq dernières décennies dans le Touat, Gourara et Tidikelt. Ainsi, nous essayons avec ce modèle de comprendre l'importance des interactions entre les différents facteurs dans un contexte de transformation dans le système oasien. L'objectif du modèle est de répondre en particulier à la question de l'impact de ces transformations sur l'exploitation des foggaras et des parcelles agricoles dans les deux secteurs, les anciennes parcelles et le nouveau périmètre de mise en valeur. Enfin, nous tentons de savoir si les discussions sur les transformations dans le système oasien, en utilisant le modèle comme support, peut converger les points de vue de chercheurs et de différents acteurs du terrain et aider à soulever de nouveaux aspects qui ne sont pas forcément observables avec d'autres approches.

Nous présentons tout d'abord les entités du modèle AISSA et la manière dont elles intègrent plusieurs dimensions thématiques multi-échelles. Ensuite nous présentons l'état initial du modèle et la manière dont il a été construit. Enfin nous discutons des méthodes utilisées.

3.3. *Les entités du modèle AISSA :*

Dans cette section, nous présentons les entités, les variables d'états et les différentes échelles du modèle AISSA. Elles sont résumées dans le diagramme de classes présenté (figure 20). Ce dernier est « *le block de construction de base pour la modélisation conceptuelle* » car il est composé de toutes les parties (appelées classes) du modèle et les relations qui les organisent. Ainsi, l'étape de son dessin est « *la première et la principale phase du processus de modélisation* ». Le principe du diagramme de classe consiste dans l'identification des entités principales du système étudié dans la réalité et leur traduction, par la suite, dans le diagramme sous forme des entités (appelées classes). « *Une classe peut être considérée comme une description des objets ayant une structure et des comportements similaires en partageant une sémantique similaire* » (Le Page & Bommel, 2005). Les caractéristiques stables d'une classe sont appelées « *attributs* » et ses comportements (sa dynamique) sont appelées « *opérations* » (*ibid*). À titre d'exemple pour le système oasien, toutes les foggaras sont des objets ayant une structure et des comportements similaires. La foggara est donc représentée dans le Modèle AISSA comme une classe avec des attributs partagés entre toutes les foggaras (dimension, débit, état d'entretien, ...), dont les valeurs font la distinction entre une foggara et une autre.

Le modèle AISSA inclut trois principaux types d'entités correspondant aux types d'entités d'un SMA : les entités spatiales, les entités passives et les entités sociales. La présentation du modèle suit cette catégorisation transdisciplinaire, c'est à dire qui n'est pas propre à une discipline particulière. Sans parler pour l'instant de discipline scientifique nous avons commencé à catégoriser les différentes variables et les différents processus représentés dans le modèle par grandes catégories thématiques et par niveau d'échelle spatiale.

Les grandes catégories thématiques que nous avons considérées sont :

- a) le social : à travers la représentation des familles propriétaires des parcelles et des parts d'eau dans les foggaras. Le modèle décrit également l'organisation et l'évolution de ces familles (grande famille ou famille nucléaire) et leur rôle (participation à l'entretien) dans le groupe de propriétaires des foggaras. Cette représentation permet de mettre en relation l'évolution des familles avec le processus de morcellement que nous avons constaté, décrit et analysé dans l'oasis d'Ouled Aissa (*cf.* Chapitre III).
- b) l'économique : il ne s'agit pas d'intégrer les aspects économiques de manière directe dans les entités du modèle (budget, biens, ...). L'aspect économique est plutôt représenté par deux éléments essentiels dont leurs effets ont été constatés et décrits dans les chapitres précédents de cette thèse. Le premier est celui de l'accès à l'emploi dans d'autres secteurs (l'administration, les travaux publics, les hydrocarbures, ...), qui a un rôle majeur dans l'amélioration des revenus des familles et de leur capacité à mettre en place des puits et des forages ce qui influe, en conséquence, sur la diminution de la participation des propriétaires des foggaras aux travaux d'entretien. Le deuxième élément est celui des programmes de développement agricole, l'APFA en particulier (*cf.* chapitre III). Dans le modèle cela se traduit par l'installation d'un nouveau périmètre de mise en valeur, à un moment précis de la simulation, comme extension de l'oasis.

L'environnemental : les dynamiques liées à l'environnement sont en particulier issues des changements dans les conditions hydrogéologiques de la zone. Ainsi, leur effet est dû aux rabattements issus des exploitations réalisées sur l'ensemble du bassin hydrogéologique (*cf.* Introduction générale), ou aux pompages réalisés localement dans les nouveaux périmètres de mise en valeur et parfois même dans les anciennes oasis (*cf.* chapitres I, II et III)

3.4. Les niveaux d'échelles spatiales considérées:

Les échelles spatiales considérées sont à chaque fois liées à l'importance du phénomène étudié et à l'aire de son influence. Pour les dynamiques hydrogéologiques, l'unité de base est l'hydro-cellule (la cellule du modèle hydrogéologique) dont la taille est calculée en fonction des dimensions de la cellule de base du modèle (la plus petite unité considérée) et en relation avec l'hydrodynamique souterraine. Autrement dit, nous avons fait une discrétisation qui permet d'une part de minimiser le temps de calcul en augmentant au maximum la taille des hydro-cellules (dans le but de minimiser le nombre d'hydro-cellules sur l'espace du modèle), et d'autre part sans influencer la mise à jour du niveau de la nappe entre les hydro-cellules⁵⁴. Cette échelle peut être considérée dans le niveau microgéographique décrit dans la section sur les niveaux de représentation dans ce chapitre.

En ce qui concerne les parcelles agricoles dans les différents secteurs, *traditionnel* et périmètre de mise en valeur, l'unité de base est la cellule du modèle qui a des dimensions de 20 X 20 mètres. Néanmoins, chaque parcelle est composée d'une ou plusieurs cellules d'une manière à reproduire l'organisation spatiale et les dimensions constatées sur le terrain dans l'oasis d'Ouled Aissa (*cf.* chapitre III). Elles représentent l'échelle du niveau mésogéographique. Les parcelles situées sur le même secteur ou même l'ensemble de l'oasis en relation avec certains phénomènes qui prennent lieu sur une échelle plus grande (régionale) représentent l'échelle globale ou le niveau macrogéographique du modèle.

3.5. Les entités spatiales :

AISSA est un modèle spatialisé sur une grille de 180 X 60 cellules.

3.5.1. La cellule :

Chaque cellule a quatre cellules voisines et sa taille est de 20 X 20 mètre (tableau 5). Elle représente l'unité de base pour les entités spatiales. La taille de la cellule a été choisie d'une manière à représenter un espace avec des dimensions proches de celles du cas d'étude d'un côté, et d'autre côté pour pouvoir simuler le modèle sur un temps raisonnable par rapport aux exigences de la thèse.

⁵⁴ La taille de l'hydro-cellule doit permettre la mise à jour du niveau de la nappe sur l'ensemble de l'espace du modèle. Cela veut dire que le rabattement local dû au pompage sur une cellule donnée doit être rempli par l'eau qui arrive de l'écoulement sur l'ensemble de l'espace du modèle.

Tableau 5 : Variables et caractéristiques des entités "Cellule"

Entité	Nom de la Variable	Type de variable	Valeur par défaut	Unité/type	Catégorie	détails
Cellule (global)*	sideLength	Paramètre	20	m	échelle spatiale (dimension pix)	c'est la dimension d'un pixel en mètre (m)
Cellule	isParcellSeed	variable de calcul	Faux	boolean	autre	cela fait partie du code

* Nous désignons comme variable globale les paramètres qui sont communs à toutes les entités de ce type (elles sont représentées dans le code informatique comme des variables de classes). Ici par exemple la longueur du côté de la cellule est la même pour toutes les cellules.

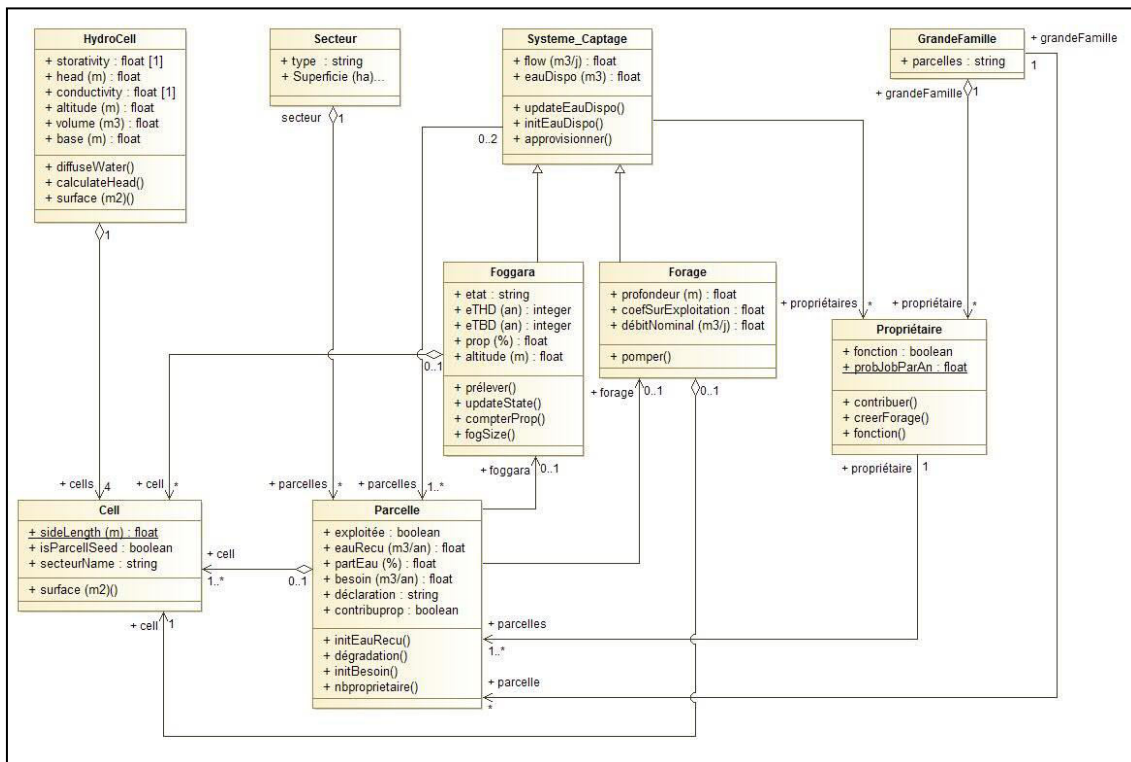


Figure 20 : Diagramme de classe du modèle AISSA

3.5.2. Le secteur :

L'espace du modèle est divisé en cinq secteurs, chacun destiné à une occupation qui ressemble à celle observée dans l'exemple étudié sur le terrain (tableau 6). Les cinq secteurs ont la même largeur avec 60 cellules, soit 1.2 km. Ils sont présentés dans la (figure 21) qui présente l'environnement spatial.

a) Le secteur « Erg » (couleur jaune) : c'est l'espace couvert de dunes de sable et sur lequel les foggaras prennent lieu et sur lequel il est impossible d'installer des parcelles

agricoles ou des habitations. Ce secteur s'étend sur 2km du nord au sud, (soit 100 lignes de cellules).

b) Le secteur « ksar » (couleur marron) : il représente l'ancien habitat de l'oasis situé en aval des foggaras. Il ne rentre pas dans les dynamiques du modèle, mais il montre l'organisation spatiale de l'oasis et occupe une superficie réduite par rapport à l'ensemble de l'oasis (une ligne de la grille spatiale).

c) Le secteur « traditionnel » (couleur verte) : c'est l'ancienne palmeraie de l'oasis située en aval du ksar. Ce secteur s'étend sur une superficie de 24 hectares (soit 10 lignes de la grille spatiale du modèle). Le secteur est divisé à l'initialisation en 30 petites parcelles aléatoirement de tailles différentes.

d) Le secteur « extension » (couleur grise) : Cet espace est destiné à l'installation des nouvelles parcelles hors les programmes de l'État, ou aussi pour l'installation du nouveau village de l'oasis. Il s'étend aussi sur 24 hectares (10 lignes), soit les mêmes dimensions que le secteur traditionnel. Il est situé entre les deux secteurs traditionnel et moderne.

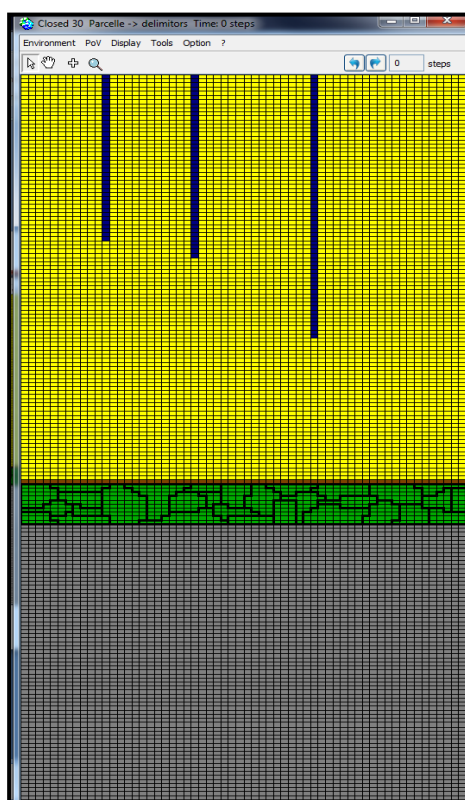


Figure 21 : la grille spatiale, les secteurs et les foggaras dans le modèle AISSA

e) Le secteur moderne (couleur grise) : situé en aval du secteur d'extension, il s'étend sur environ 140 hectares (59 lignes de la grille spatiale du modèle). Il est destiné à l'installation des parcelles modernes mise en place dans le cadre des programmes de l'État. Le nombre des parcelles dépend des scénarios et la superficie de chacune est de 2 ha.

Tableau 6 : attributs et caractéristiques de la classe "secteur" du modèle

Entité	Nom de la variable	Type de variable*	Valeur par défaut	Unité/type	Catégorie	détails
Secteur	tradi	Paramètre	Vrai	Boolean	locale (spatiale)	c'est la nature du secteur
Secteur	extension	Paramètre	Faux	Boolean	locale (spatiale)	c'est la nature du secteur
Secteur	modern	Paramètre	Faux	Boolean	locale (spatiale)	c'est la nature du secteur
Secteur	erg	Paramètre	Faux	Boolean	locale (spatiale)	c'est la nature du secteur
Secteur	ksar	Paramètre	Faux	Boolean	locale (spatiale)	c'est la nature du secteur

* Types de variables : paramètre = variable fixe pendant la simulation ; variable d'état = variable qui va être recalculée au court de la simulation et traduit l'état du système ; processus = description simple d'un processus ; variable de calcul = juste utilisée pour le calcul mais ne traduisant pas un état du système.

3.5.3. La parcelle :

C'est l'unité principale de l'espace agronomique du modèle. Elle est composée d'une ou plusieurs cellules et appartient à un propriétaire et une grande famille. Selon son secteur, elle est irriguée par une foggara si elle est dans le secteur traditionnel. Quelle que soit le secteur dans lequel elle se trouve, elle peut être irriguée par un forage. Dans les secteurs d'extension et moderne, elle est toujours irriguée par forage. La parcelle a une part d'eau dans la foggara ou le forage, elle est capable de calculer le volume de l'eau reçue pour un pas du temps donné (tableau 7), le comparer avec ses besoins en fonction de sa superficie et déclarer son niveau de satisfaction en eau (adéquation entre ses besoins et l'eau qu'elle a reçue).

Tableau 7 : attributs et caractéristiques de la classe "parcelle" du modèle

Entité	Nom de la variable	Type de variable	Valeur par défaut	Unité/type	Catégorie	détails
Parcelle (globale)	besoin EnEau	Variable d'état	0	m ³ /ha	locale (agricole)	c'est le besoin en eau du m ² /an calculé après la 1ère année qu'on considère que la parcelle est satisfaite car la surface cultivée dépend de l'eau recue (cf. Parcelle>>besoin), on considère que le besoin en eau correspond à la quantité d'eau recue, car dans la littérature on dit que la taille de la parcelle correspond à la quantité d'eau recue, de la même manière les besoins dans les parcelles dans les autres secteurs est générée du même rapport débit/surface qui résulte du secteur traditionnel, on aura donc pour le besoin de X m ³ /ha/an
Parcelle	exploitee	Variable d'état	Vrai	Booléen	locale (agricole)	c'est l'état des parcelles (soit exploitée, soit non exploitée ou autrement dit, abandonnée). À l'état initial on considère que toutes les parcelles sont exploitées
Parcelle	colFam	variable pour visualisation	0		locale (sociale)	c'est pour représenter la famille qui possède la parcelle
Parcelle	eauRecu	Variable d'état	0	m ³	locale (agricole)	c'est le volume d'eau recue par la parcelle en m ³ et accumulé dans chaque pas du temps mensuel pendant 1 an
Parcelle	partEau	Variable d'état	0	%	locale (agricole)	c'est la part d'eau de la parcelle calculée selon la part de sa superficie par rapport au totale des surfaces des parcelles irriguées par le même système de captage (foggara ou forage) et qui appartiennent à une même famille
Parcelle	besoin	Variable d'état	0	m ³	locale (agricole)	c'est le besoin en eau de la parcelle en m ³ après la première année. Il est calculé en multipliant la valeur du besoin en eau à l'ha calculé pendant la première année par la surface de la parcelle comme cela est expliqué dans la section « état initial ».
Parcelle	declaration	Variable d'état	#satisf	String	locale (agricole)	c'est l'état de la parcelle qu'on considère toujours satisfaite dans sa première année. Il sera mis à jour chaque année en fonction des besoins de la parcelle (variant avec sa surface lors du morcellement) et de l'eau reçue pendant l'année.
Parcelle	contribuprop	Variable d'état	true	booléenne	locale (social) + globale (économique)	c'est la contribution du propriétaire de la parcelle aux travaux d'entretien de la foggara, au début c'est toujours "oui", mais après c'est en fonction de la situation de la parcelle, de la foggara, la situation du propriétaire (fonctionnaire ou pas) et de la disponibilité d'un frère qui peut lui remplacer (cf. entités propriétaires)
Parcelle	secteur	Paramètre	"	String	locale (spatiale)	c'est le secteur dans lequel se trouve la parcelle
Parcelle (global)	Seuils de dégradation	Paramètre	Bon ou en dégradation ou dégradé		agricole	Dans Parcelle>>dégradation l'état de la parcelle dépend du rapport entre le volume d'eau reçu et le besoin, cela vient des constats fait sur terrain

3.5.4. Le système de captage :

C'est l'entité qui représente les infrastructures utilisées pour capter l'eau souterraine destinée à l'irrigation des parcelles agricoles dans les différents secteurs. Il a un débit et calcule le volume d'eau capté. Un système de captage est une entité abstraite qui peut être spécialisée en deux sous-types d'entités :

a) La foggara : Le modèle comporte trois foggaras que l'on peut voir sur la figure 21 où sont représentées par des lignes verticales qui indiquent leur emplacement. La longueur totale de foggara correspond à la longueur nécessaire pour capter le volume d'eau suffisant à irriguer l'ensemble du secteur traditionnel au début de la simulation. Une foggara n'irrigue que les parcelles de ce secteur. Dans notre modèle nous représentons uniquement le canal drainant et les séguias ne sont pas représentés comme des entités de l'environnement. Toutefois, chaque foggara est liée aux parcelles qu'elle doit irriguer. Elle a une profondeur par rapport au niveau de la nappe d'eau souterraine, et donc elle peut calculer le volume d'eau qu'elle capte dans ses cellules en fonction du niveau de la nappe et du nombre de propriétaires qui ont participé à son entretien chaque année (tableau 8). Le fonctionnement des foggaras dans le modèle est expliqué dans la section de description des dynamiques.

b) Le forage : Un forage est situé sur une cellule de la grille spatiale qui est le grain spatial le plus fin. Dans les deux secteurs d'extension et moderne, un forage est installé sur chaque nouvelle parcelle mise en place. Dans le secteur traditionnel, les propriétaires peuvent avoir la possibilité de réaliser des forages individuels ou collectifs selon des règles et des stratégies prédéfinies et selon le scénario choisi en début de simulation. Les forages ont une profondeur standard dans le modèle (tableau 9). Un forage capte un volume d'eau maximum en fonction de son débit qui sert à l'irrigation de ses parcelles, mais à condition d'avoir une situation hydrogéologique favorable. Il a un coefficient de surexploitation qui représente les pertes en eau dues au climat, au type de sol, et au fait que les besoins en eau des parcelles ont été calculés en fonction de l'eau utilisée traditionnellement par les parcelles irriguées par foggaras qui était plus parcimonieuse... Le volume d'eau capté varie selon l'épaisseur de la lame d'eau dans le forage. Elle est au maximum quand la lame d'eau est à un niveau donné et diminue proportionnellement au-dessous de cette valeur.

Tableau 8 : attributs et caractéristiques de la classe "foggara" du modèle

Entité	Nom de la variable	Type de variable	Valeur par défaut	Unité/type	Catégorie	détails
Foggara	Etat foggara	Variable d'état	#Bon	String	locale (hydro)	c'est l'état de la foggara qu'on considère bonne au début mais qui change en fonction de la contribution des propriétaires à l'entretien, son état rentre dans le calcul de son débit réel par rapport à son débit potentiel calculé si la foggara était entretenue parfaitement
Foggara	Seuil eTHD	Paramètre	0	an	local (socio-économique)	c'est le seuil annuel "haut" des contributions aux entretiens, il sert à changer l'état de la foggara passe à l'état HAUT (progression)
Foggara	Seuil eTBD	Paramètre	0	an	local (socio-économique)	c'est le seuil annuel "bas" des contributions aux entretiens, il sert à changer l'état de la foggara passe à l'état Bas (régression)
Foggara	inertie	Paramètre	5	an	local (socio-économique)	C'est le nombre d'années "hautes" ou "basses" consécutives nécessaires pour que la foggara change de statut
Foggara	eTHD	Variable d'état	0	an	local (socio-économique)	c'est un compteur annuel des contributions aux entretiens, il sert à changer l'état de la foggara après un seuil donnée, la c'est pour passer à l'état HAUT progression)
Foggara	eTBD	Variable d'état	0	an	local (socio-économique)	c'est un compteur annuel des contributions aux entretiens, il sert à changer l'état de la foggara après un seuil donnée, la c'est pour passer à l'état BAS régression)
Foggara	Volume EauMax	variable de calcul	0	m3/an	locale (hydro)	c'est le volume d'eau maximum que la foggara peut capter. Il est calculé comme le flux initial au tout début de la simulation où la nappe est à sa hauteur maximale. Il sera utilisé comme référence pour calculer la baisse de performance de la foggara au court de la simulation.
Foggara	altitude	Paramètre	-20cm du niveau de la nappe		locale (hydro)	c'est l'altitude de la foggara par rapport au niveau 0, elle permet de savoir sa situation par rapport au niveau piézométrique de la nappe
Foggara	flow	Variable d'état	0	m3	locale (hydro)	c'est la quantité d'eau prélevée dans chaque pas de temps hydraulique
Foggara	eauDispo	Variable d'état	0	m3	locale (hydro)	c'est le cumul annuel de l'eau récoltée par une foggara
Foggara	upDate FogSize	Fonction d'initialisation	lenght/4	pixel	Foggara init	la longueur des foggaras a été établie de manière à avoir un débit total d'environ 6 l/s, cela correspond approximativement au débit total de 3 foggaras à Ouled Aissa en acceptant que 1 km de galerie donne en moyenne 2 l/s (Dubost, 1998 : 119), donc la surface de secteur traditionnelle est de 10 pixels X 60 pixels = 600 pixel/4 = 150 pixels (c'est la longueur totale des foggaras), 150 X 20 m (dimension des pixels) = 3000 m, soit 3 km X 2 l/s (Dubost, 1998: 119) = 6 l/s
Foggara	init	Fonction d'initialisation	Cell head - 0,2		Foggara init	la profondeur de la galerie de la foggara est de - 20 cm de niveau piézométrique de la nappe, cela représente la discrétisation technique de la réalisation des foggaras comme montrée par les experts locaux de terrains (à Tasmaout en particulier),
Foggara	Coefficients de dégradation	Paramètre	60 à 80	%	Foggara captage	Dans la fonction Foggara>>prélever: le débit potentiel de la foggara est multiplié par une valeur qui peut aller de 0 à 0,8 en fonction de l'état de la foggara

Tableau 9 : attributs et caractéristiques de la classe "forage" du modèle

Entité	Nom de la variable	Type de variable	Valeur par défaut	Unité/type	Catégorie	détails
Forage (global)	profondeur	Paramètre	30	m	globale (économique + hydrogéologique)	c'est la profondeur des forages réalisés qui est fixée comme un scénario. Dans la réalité elle dépend du niveau de la nappe et la capacité économique pour la réalisation
Forage	coefSurexploitation	Paramètre	2	unités	locale (humain)	c'est un coefficient qu'on met pour monter la quantité d'eau pompée par rapport aux besoins réels, elle est estimée par la comparaison des débits des foggaras et les surfaces irriguées avec les débits des forages avec leurs surfaces irriguées
Forage (global)	Débit nominal	Variable d'état	Calculé à l'installation du forage	m3/j	globale (économique + hydrogéologique)	c'est le volume d'eau en (m3/j) qu'un forage peut offrir par jour pour un ha dans des conditions idéales. Il est fixe comme un débit de 1 l/s, ce dernier a été estimé sur la base des enquêtes de terrain
Forage	flow	Variable d'état	0	m3	hydro	c'est le volume d'eau réel d'un forage (m3/jour) qui sera calculé en fonction de son débit nominal, profondeur du forage et le niveau piézométrique
Forage	eauDispo	Variable d'état	0	m3	hydro	c'est le cumul annuel de flow d'un forage
Forage	approvisionner	Processus	eauDispo/nombre de parcelles		Forage approvisionnement	le forage distribue l'eau sur ses parcelles sans prendre en considération la superficie, cela reproduit le comportement constaté sur le terrain surtout en cas de forage entre plusieurs familles, investissement partagé et donc la quantité d'eau aussi sans relation avec les superficies irriguées
Forage	pomper	Processus	$r * \text{débit}, r = (h/15) \min 1$		Forage pompage	le forage a un débit max (le débit nominal ci dessus) et pour l'atteindre, il faut avoir au moins 15 m de différence entre le niveau piézométrique et sa profondeur, sinon le forage pompe un débit qui est proportionnelle à cette différence (voir figure), cela vient aussi des constats du terrain

3.5.5. La nappe d'eau souterraine :

Elle a été reprise d'un prototype élaboré par Bommel Pierre. *et al.* (2018) sur la plateforme de modélisation CORMAS. Le prototype a été amélioré de manière à représenter le contexte général de la zone d'étude. La dynamique de la nappe a été codée en se basant sur la loi de Henry Dracy. Sa formule permet de calculer le débit d'un fluide entre deux points dans un milieu poreux en utilisant la conductivité hydraulique, le coefficient d'emménagement et la pression (tableau 10). Le prototype implémenté est basé sur une approche de modélisation des eaux souterraines comme un automate cellulaire (Ravazzani *et al.*, 2011). Cela nécessite de découper l'espace en une grille de cellules munie d'un voisinage. Le modèle est donc programmé dans des entités « cellules » appelées Hydro-cellules.

Tableau 10 : attributs et caractéristiques de l'entité "Hydro-cellule" du modèle AISSA

Entité	Nom de variable	Type de variable	Valeur par défaut	Unité/type	Catégorie	détails
HydroCell class	nbCells	Paramètre	4	cell	échelle spatiale (nombre de pixels)	Pour optimiser le temps de calcul, on regroupe 4x4 pixels dans un même HydroCell
HydroCell	storativity	Paramètre	0,3	Sans unité (proportion)	globale	c'est le coefficient d'emménagement qu'on doit trouver dans la bibliographie ou les données fournies par les services techniques
HydroCell	head	Variable d'état	200	m	globale	c'est le niveau piézométrique qu'on doit trouver dans la bibliographie ou les données fournies par les services techniques
HydroCell	conductivity	Paramètre	0,03	m/s	globale	c'est la conductivité hydraulique qu'on doit trouver dans la bibliographie ou dans les données fournies par les services techniques
HydroCell	altitude	Paramètre	210	m	globale	c'est l'altitude du terrain en mètre (m) qu'on trouve sur les cartes topographiques ou les MNT ou encore sur google-earth
HydroCell	volume	variable de calcul	0	m3	globale	Variable utilisée comme variable tampon de la quantité d'eau dans la cellule (la valeur actuelle est "head") pour le fonctionnement de l'automate cellulaire
HydroCell	base	Paramètre	0	m	locale	c'est le niveau de base de la nappe en mètre (m), il est considéré comme le niveau 0.

3.6. Les entités sociales :

Elles représentent l'organisation sociale des propriétaires des parcelles et des systèmes de captage. Ce sont des agents ayants leurs propres stratégies et objectifs. Cela leur donne une capacité de prise de décision visa à vis de leurs propriétés situées sur l'environnement spatial ainsi que la possibilité de communiquer afin d'échanger l'information sur leurs états. Deux entités sociales sont représentées dans le modèle :

3.6.1. Le propriétaire :

C'est un agent individuel qui est l'entité sociale de base. L'agent propriétaire peut avoir un emploi en dehors de l'agriculture, sinon il a une probabilité de trouver un emploi (Tableau 11). Il peut être responsable d'une parcelle et cherche pour qu'elle soit toujours satisfaite en eau. Il est capable de prendre ses décisions sur la participation à l'entretien de sa foggara et de coordonner avec ses frères propriétaires de la même grande famille en communiquant leur situations et la situation de leurs parcelles.

Tableau 11 : attributs et caractéristiques de la classe "propriétaire " du modèle AISSA

Class	Attribute	Type de variable	Value	Unité/type	Catégorie	détails
Propriétaire	fonction	Variable d'état	false	Boolean	global (économique)	c'est la situation d'un propriétaire, il est par défaut non fonctionnaire
Propriétaire	contribu	Variable d'état	true	Boolean	local (sociale)	c'est par rapport à la contribution à l'entretien qui est par défaut "oui"
Propriétaire	probaJobParAn	Paramètre	0,02		globale (économique)	c'est un coefficient qui détermine la probabilité qu'un propriétaire trouve une fonction, cette valeur va être estimée à partir de la bibliographie et les données statistiques

3.6.2. La grande famille :

C'est un agent composé d'un ou plusieurs propriétaires, la grande famille possède l'ensemble des parcelles sous la responsabilité de ses membres propriétaires. En cas d'insuffisance de l'eau d'irrigation, elle est capable de décider la réalisation d'un forage pour irriguer une ou plusieurs parcelles. Pour cela, elle prend en considération la situation de ses membres propriétaires et l'état et la superficie de ses parcelles (tableau 12). Elle a un âge qui lui permet de se diviser à un moment donné en nouvelles grandes familles. Cette division est accompagnée par le morcellement des parcelles et le partage des parts d'eaux dans les foggaras et les forages. En cas de diminution de la superficie totale de ses parcelles, elle est capable de créer une nouvelle parcelle sur le secteur d'extension, mais à condition que ses membres aient les moyens économiques pour réaliser un forage.

Tableau 12 : attributs et caractéristiques de la classe "Grande Famille " du modèle AISSA

Class	Attribute	Type de variable	Value	Unité/type	Catégorie	détails
GrandeFamille	age	Variable d'état	0	an	locale (temporelle)	c'est un compteur de l'âge d'une famille donnée,
GrandeFamille	Surface Pour Forage	Paramètre	0,7	ha	GF créer forage	Dans GrandeFamille>>créerForage: pour créer un forage, une superficie totale des parcelles doit être au moins de 0,7 ha, cela vient des constatations du terrain
GrandeFamille	ageMax	Paramètre	20	an	division famille	Dans GrandeFamille>>diviser: la grande famille se divise après X ans, cela vient des résultats du terrain,
GrandeFamille	nbEnfants	Paramètre	1 à 9	enfant	nouvelles familles	la nouvelle famille possède aléatoirement entre 1 et 9 enfants cela va être calibré avec les données démographiques d manière à reproduire le même taux de croissance démographique moyenne sur l'ensemble de la période de simulation
GrandeFamille	Seuil Creation Dans Extension	Paramètre	0,2	ha/propriétaire	parcelle d'extension	Dans GrandeFamille>>newParcelle pour accéder à une parcelle d'extension, il faut que la part moyenne en superficie par propriétaire dans la famille soit égale au moins à 0,2 ha, cette valeur va être ajustée avec les résultats de terrain
GrandeFamille	givenSize	Paramètre	~0.5	ha	parcelle d'extension	cette valeur a été choisie selon les observations du terrain, où la superficie moyenne des parcelles d'extension est environ 0,5 ha

3.7. Les échelles temporelles et les processus :

3.7.1. L'échelle hydrologique :

Trois échelles temporelles sont considérées dans le modèle AISSA. La première est l'échelle hydrogéologique calculée en fonction de la taille de l'hydro-cellule et le nombre de Reynold (*cf.* section sur le modèle hydrogéologique sus-décrite). Cette échelle ne correspond pas forcément à un jour mais elle est souvent seulement de quelques heures. Dans sa dynamique, l'échelle hydrogéologique est influée par l'état de la nappe sur les trois niveaux géographiques du système : La mise en équilibre du niveau de la nappe après un prélèvement réalisé sur une hydro-cellule donnée (échelle microgéographique) ne peut se faire sans remplacer cette eau par une autre qui arrive des autres cellules avoisinantes (échelle mésogéographique) et l'ensemble de cette dynamique (quantité d'eau exploitable et la vitesse de circulation de l'eau en profondeur) est profondément influée par les caractéristiques générales de l'ensemble de l'aquifère qui représente l'échelle macrogéographique (dimensions et nature des formations géologiques).

3.7.2. Le prélèvement d'eau par la foggara :

Au début du pas de temps hydrogéologique (figure 22), la nappe se met à jour et chaque cellule renvoie ou reçoit un volume d'eau décrit selon la loi de Darcy (Ravazzani *et al.*, 2011). Dans leur modèle basé sur l'approche des automates cellulaires Ravazzani *et al.* (2011) décrivent le phénomène de drainage de l'eau d'une nappe souterraine dans une rivière dont le niveau de son lit mineur est inférieur par rapport au niveau piézométrique de la nappe. Le modèle fonctionne avec une équation qu'on trouve dans un package de MODFLOW-2000. Elle calcule la décharge en eau entre la nappe souterraine et la rivière selon plusieurs facteurs liés en particulier à la conductivité hydraulique et à la différence dans le niveau d'eau entre la nappe et la rivière. Macpherson *et al.* (2017) ont utilisé MODFLOW pour étudier la dynamique souterraine entre la nappe et les foggaras en relation avec les caractéristiques hydrogéologiques. Pour distinguer les cellules de la foggara (hydro-cellules dans le modèle AISSA) du reste de l'espace du modèle, ils estiment qu'il faut augmenter leur conductivité hydraulique car ces cellules devraient recevoir plus d'eau rapport aux autres cellules de la nappe (la galerie de la foggara ne contient pas de formations géologiques, elle est donc vide et l'eau passe plus facilement). Dans le modèle AISSA, nous utilisons le même principe sans intégrer l'équation utilisée par Ravazzani *et al.* (2011). La foggara calcule le volume d'eau total entré dans ses hydro-cellules et donc susceptible d'être prélevée pour la distribuer sur les parcelles. Nous considérons que l'augmentation de la taille des hydro-cellules, au lieu de la conductivité hydraulique, permet de suivre la même logique⁵⁵. Le volume d'eau prélevé par la foggara dans le modèle AISSA est ajusté selon deux variables (figure 23). La première liée à l'état de la foggara mis à jour annuellement en fonction de l'importance de la participation des propriétaires à l'entretien. La deuxième dépend des conditions hydrogéologiques de la foggara. En effet, la foggara ne prélève pas tout ce volume, mais elle prend en considération son état d'entretien. Si son état est bon, elle prélève entre 60 et 80 % du volume total. Si son état est moyen, elle prélève entre 50 et 60 % du volume total, sinon elle prélève entre 0 et 20 % du volume total. Une foggara ne donne jamais le volume total d'eau entrée dans ses cellules, car une partie est toujours perdue par infiltration ou évaporation.

⁵⁵ Au lieu d'augmenter la valeur de la conductivité hydraulique des hydro-cellules, dans le modèle AISSA nous avons mis des galeries d'une largeur de 20 mètres qui correspond à la taille des hydro-cellules.

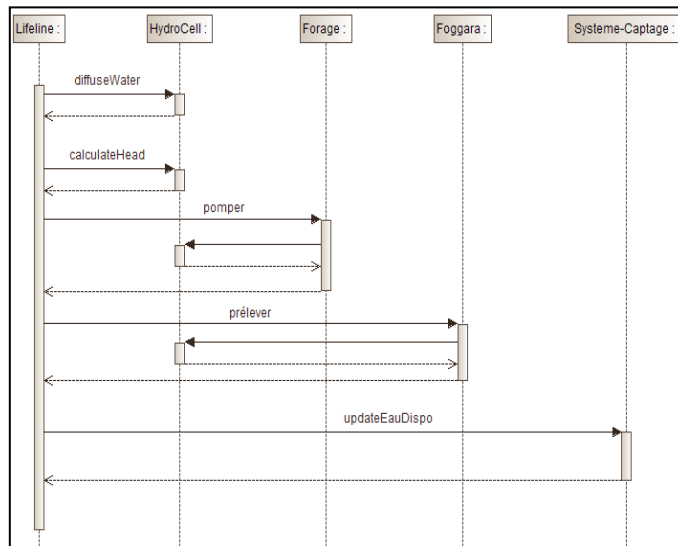


Figure 22 : diagramme de séquence⁵⁶ au pas de temps hydrologique du modèle AISSA

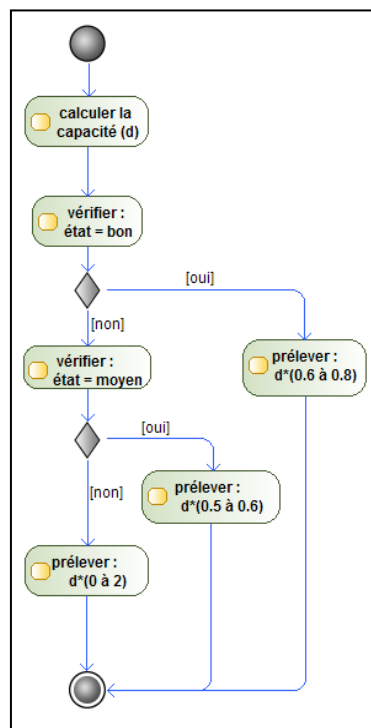


Figure 23 : diagramme de l'activité⁵⁷ "prélever" de la classe "foggara"

⁵⁶ Selon LePage et Bommel (2005) « le diagramme de séquence décrit la séquence des messages échangés entre les objets au fil du temps. Ces échanges sont affichés le long des lignes de vie des objets. La ligne de vie d'un objet représente une instance de la classe, c'est-à-dire un participant individuel à l'interaction. Les flèches entre les lignes de vie indiquent la communication entre les instances. De haut en bas, l'ordre des messages le long d'une ligne de vie est significatif, car il indique l'ordre dans lequel ces messages se produiront. Un message définit un type spécifique de communication dans une interaction. Ces communications sont utilisées pour appeler une opération ».

⁵⁷ « Le but d'un diagramme d'activités est de décrire un ensemble d'activités en représentant des actions et leurs conséquences » (LePage et Bommel., 2005).

3.7.3. Le pompage d'eau par le forage :

Le forage pompe aussi un volume d'eau lié aux besoins des parcelles qu'il irrigue. Pour pouvoir pomper sa capacité maximale, il a besoin d'avoir une lame d'eau d'une épaisseur 15 mètres au moins. Sinon, le volume pompé est proportionnel à l'épaisseur de la lame d'eau dans le forage (figure 24). Le volume pompé est calculé par l'équation suivante :

$$V = r \cdot V_t \text{ dont : } r = (h / 15) \text{ et sa valeur maximale est de } 1 \text{ l/s.}$$

V : volume pompé ; r : coefficient ; h : l'épaisseur de la lame d'eau dans le forage ;
V_t : le volume d'eau total.

A la fin du pas du temps, le système de captage mis à jour le volume d'eau qu'il a reçu des forages et des foggaras en l'ajoutant au volume d'eau reçu durant les pas de temps précédents.

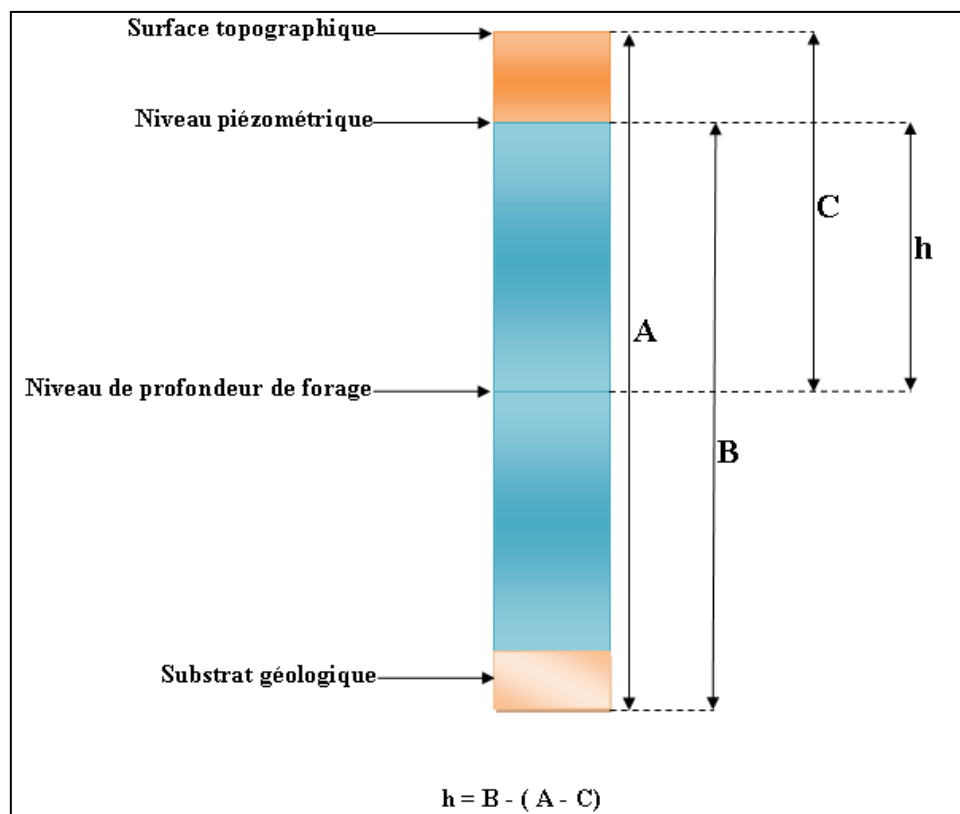


Figure 24 : Principe de calcul de l'épaisseur de la lame d'eau dans le forage

3.7.4. L'échelle mensuelle :

Elle est représentée par la reproduction des dynamiques en fonction du pas du temps hydrogéologiques. Pour avoir un pas du temps mensuel, le nombre N de répétitions de pas du temps hydrogéologique est calculé par la formule :

$$N = (30 \times 3600 \times 24 / \Delta t)$$

Dont Δt est le pas du temps hydrogéologique en secondes (*cf.* section du modèle hydrogéologique).

La dynamique principale suivie avec le pas du temps mensuel est celle de l'état des parcelles qui change en fonction de la quantité d'eau reçue au cours d'un mois et en comparaison avec ses besoins (*cf.* section des entités spatiales). Ce pas du temps permet également de mettre à jour la visualisation de la coupe hydrogéologique et d'observer son évolution en parallèle des autres phénomènes spatiaux (pompage, état des foggaras, ...).

3.7.5. L'échelle annuelle :

Elle représente 12 mois consécutifs, l'échelle annuelle correspond aux dynamiques sur les échelles spatiales méso et macrogéographiques. Elle permet d'observer l'évolution du système en relation avec les grandes dynamiques économiques, comme l'accès à l'emploi et l'installation du périmètre de mise en valeur, et environnementales, comme l'évolution dans les conditions hydrogéologiques. Les dynamiques annuelles sont organisées dans l'ordre suivant (figure 26):

La parcelle initialise l'eau reçue à la valeur 0 pour pouvoir calculer le volume total de l'eau reçue au cours de l'année actuelle. Le propriétaire cherche la possibilité d'accès à un nouvel emploi. Selon la valeur du paramètre de possibilité d'accès à un emploi en dehors de l'agriculture, chaque année un certain nombre de propriétaires non fonctionnaires auront la possibilité d'avoir un emploi. Ce paramètre résume les changements économiques qui peuvent avoir lieu souvent pour des raisons liées à une échelle plus grande de celle de l'oasis.

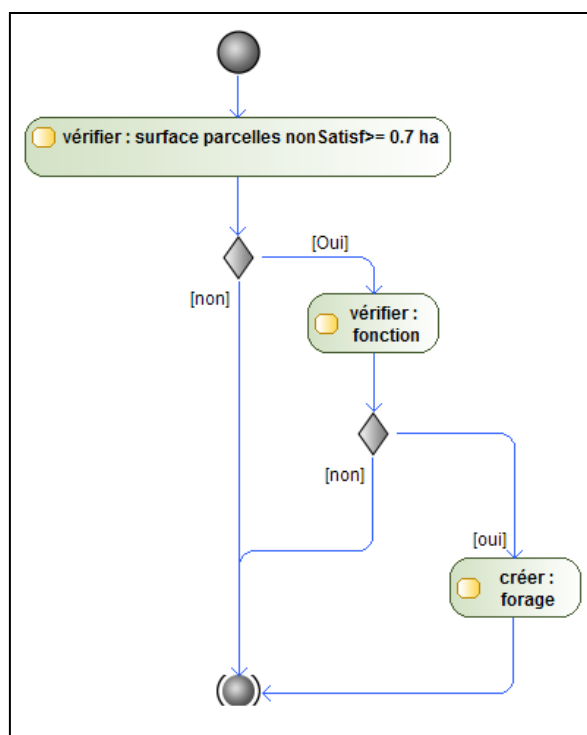


Figure 25 : diagramme de l'activité "créer forage" par le propriétaire

Le propriétaire décide s'il contribue à l'entretien de la foggara ou pas selon sa situation économique (figure 27). S'il est fonctionnaire, il n'aura pas du temps pour participer à l'entretien de la foggara et sa famille aura la possibilité d'installer un forage en cas de besoin (figure 25). Le propriétaire décide aussi s'il contribue à la place de ses frères à l'entretien de leurs foggaras ou pas. S'il n'est pas fonctionnaire et ses parcelles sont satisfaites ou il n'a pas de parcelles, il contribue à l'entretien de la foggara à la place de son frère fonctionnaire qui a au moins une parcelle non satisfaite. En parallèle, il s'arrête de contribuer à sa propre foggara.

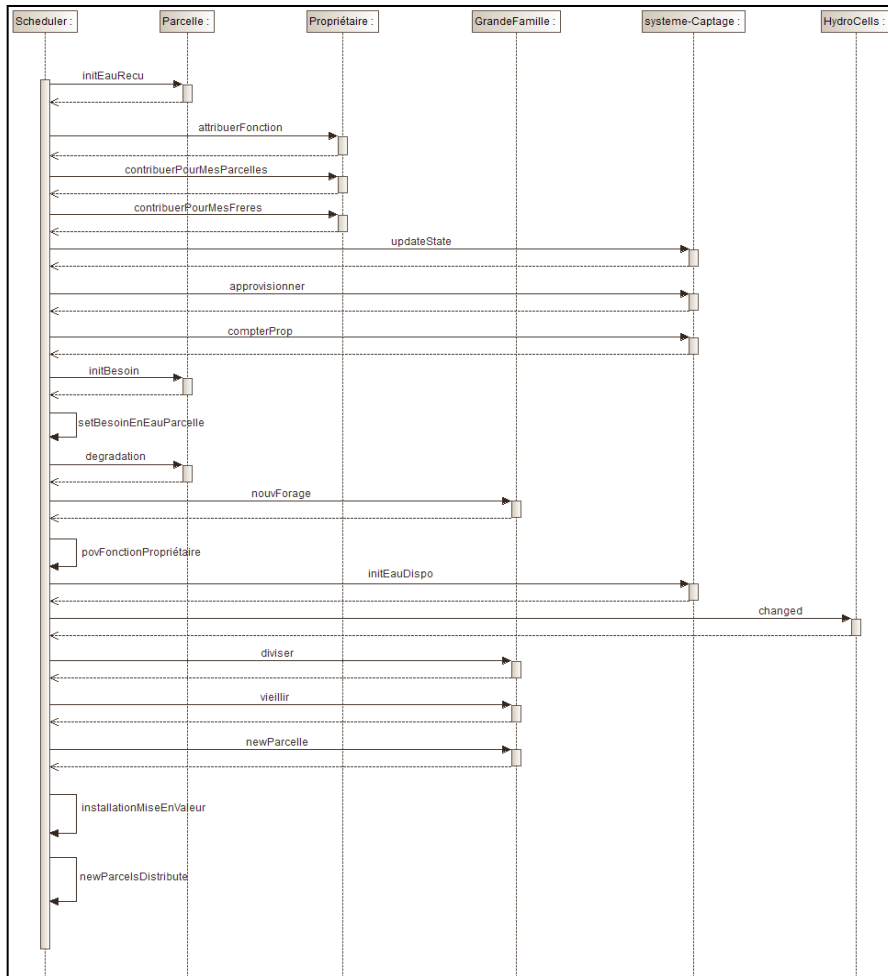


Figure 26 : diagramme de séquence annuel du modèle AISSA

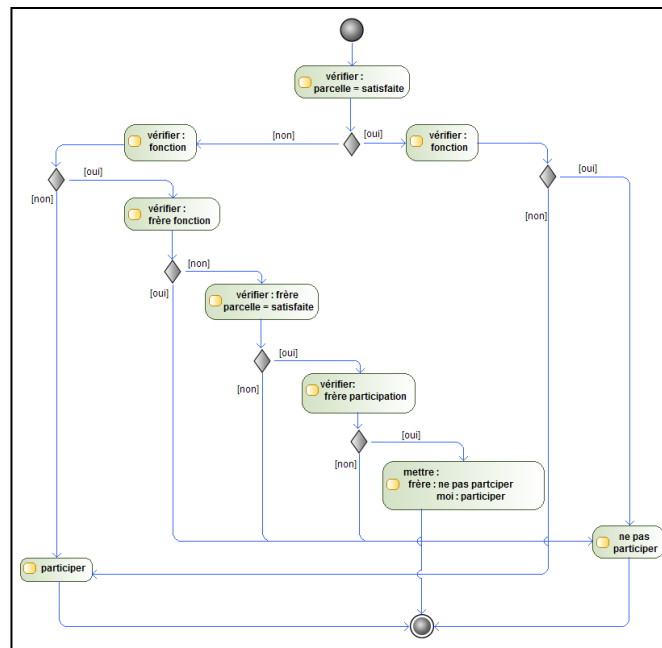


Figure 27 : diagramme de l'activité "participer" de la classe "propriétaire"

3.7.6. Mise à jour de l'état d'entretien de la foggara :

La mise à jour est annuelle car on considère que les processus de réhabilitation et de détériorations sont lents (de l'ordre de 5 ans) comme nous l'expliquons dans la partie « paramétrisation du modèle ». La foggara se met à jour selon l'importance des contributions à l'entretien de l'année précédente, elle déclare son état qui peut être bon (bleu), moyen (orange) ou faible (rouge). Pour se mettre à jour, elle a deux compteurs qui calculent la possibilité de passage d'un état à un autre. Le premier compte pour le passage à un état meilleur et le deuxième compte pour le passage à un état moins bon (figure 28). Les valeurs limites sont les suivantes : 60 % et plus pour l'état bon, entre 40 et 60 % pour l'état moyen et moins de 40 % pour l'état faible. Si la contribution d'une année donnée est dans la même marge de la situation actuelle de la foggara, les deux compteurs sont remis à 0. Si la contribution est dans la marge d'un état différent de l'état actuel de la foggara, le compteur concerné rajoute la valeur 1 et l'autre compteur se remet à 0. La foggara passe d'un état à l'autre quand un compteur atteint la valeur 5, soit cinq ans consécutives de contributions différents de la marge de l'état actuel de la foggara. Par la suite, le système de captage distribue l'eau captée pendant l'année sur ses parcelles. En effet, notre modèle agronomique étant très fruste (il met juste en relation l'eau reçue annuellement par une parcelle à son niveau de détérioration), nous n'avons pas besoin de regarder l'eau reçue chaque mois par la parcelle. Enfin, la foggara compte le taux de participation à l'entretien de l'année en cours pour pouvoir l'utiliser l'année prochaine.

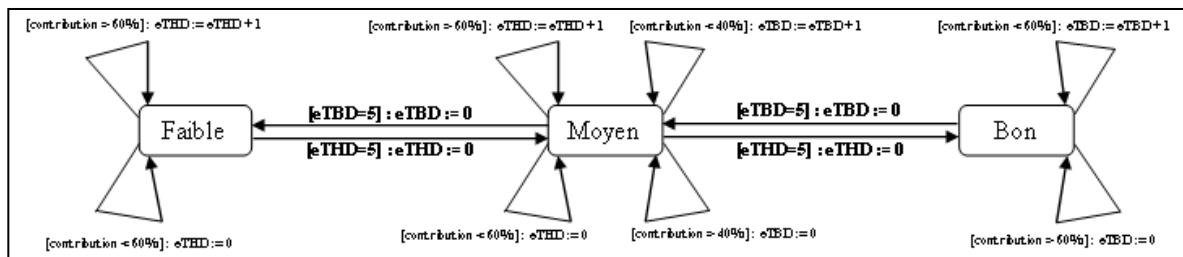


Figure 28 : diagramme de l'état-transition⁵⁸ de la foggara

Si la simulation est sur le 13^{ème} mois, soit le 1^{er} mois de la 2^{ème} année, la parcelle initialise ses besoins. Elle calcule le volume d'eau reçue pour la première année. Ce dernier est considéré suffisant et en concordance avec la superficie de la parcelle. Au niveau du modèle AISSA, une moyenne est calculée entre le volume total d'eau reçue par toutes les parcelles par rapport

⁵⁸ « Les diagrammes état-transition sont utilisés pour décrire le comportement d'un objet. Ils montrent les séquences possibles d'états à travers lesquels une instance d'objet peut continuer pendant sa durée de vie lorsqu'elle réagit aux événements » (LePage et Bommel., 2005).

à la superficie totale des parcelles. Cette valeur devient une référence pour calculer les besoins en eau par superficie durant toute la simulation.

La parcelle met à jour son niveau de dégradation. Elle compare le volume d'eau reçue au cours de l'année précédente avec ses besoins en eau calculés en fonction de sa superficie. Elle déclare qu'elle est satisfaite (vert foncé) s'elle a reçu 80 % ou plus de ses besoins, en dégradation (vert clair) s'elle a reçu entre 40 % et moins de 80 % de ses besoins ou dégradée (jaune) s'elle a reçu moins de 40 % de ses besoins.

3.7.7. L'évolution des familles et le morcellement des parcelles agricoles

Le système de captage s'initialise et met le volume d'eau disponible à la valeur 0. La grande famille regarde son âge. Si elle a 30 ans, qui correspond à la valeur du paramètre « âge de division », elle se divise pour donner X nouvelles grandes famille (figure 29). X correspond au nombre des propriétaires qui appartenaient à la grande famille. Chaque nouvelle grande famille aura entre un et neuf enfants, avec une moyenne de 3 enfants par famille, qui seront ses membres et les propriétaires de ses parcelles. Pour faire l'héritage des parcelles, la grande famille calcule la superficie totale de ses parcelles sous la forme de nombre de cellules. Par la suite, elle calcule la part (*partCells*) de chaque nouvelle grande famille par la division du nombre total des cellules de ses parcelles par le nombre des nouvelles grandes familles. Si *partCells* ≥ 1 (car au-dessous, l'unité spatiale est indivisible) : la grande famille parcourt ses parcelles qui ont une taille > 1 cellule. Pour chaque parcelle, elle calcule le résultat de division (*nPartCells*) de la taille de la parcelle sur *partCells*. *nPartCells* est le nombre de nouvelles parcelles qui résultent du morcèlement de la parcelle. Le *nPartCells* est toujours un nombre entier et *nPartCells* ≥ 2 . Chaque parcelle est ensuite morcelée en un nombre de *nPartCells* de nouvelles parcelles. La grande famille compare le nombre total des nouvelles parcelles et le compare avec le nombre des nouvelles familles. Tant que ce dernier est plus grand et la plus grande parcelle fait plus d'une cellule, elle morcèle la plus grande parcelle en deux. Une fois le nombre de nouvelles parcelles est au moins égal au nombre de nouvelles familles, la grande famille distribue les nouvelles parcelles classées selon leurs tailles, de la grande à la petite, sur les nouvelles grandes familles. Les nouvelles grandes familles distribuent à leur tour leurs nouvelles parcelles sur leurs propriétaires.

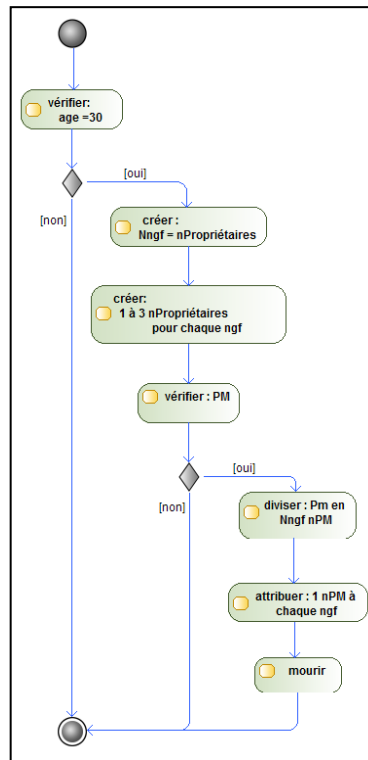


Figure 29 : diagramme de l'activité "diviser" de la grande famille

3.7.8. L'introduction du secteur moderne

À l'âge de 10 ans ou plus, la grande famille a la possibilité de créer une nouvelle parcelle dans le secteur d'extension. C'est une parcelle considérée créée en dehors des programmes de développement agricoles financés par l'État. Pour cela, la grande famille doit s'assurer que la part moyenne de la superficie de ses parcelles par membre de la famille est au-dessous d'un seuil donné (0.2 ha / personne). Dans ce cas, elle installe la nouvelle parcelle d'extension avec un nouveau forage pour son irrigation.

À un pas du temps donné, un certain nombre de parcelles, chacune d'une superficie de 2 ha, sont installées dans le secteur modern. Le nombre de parcelles est défini par un paramètre. Chaque parcelle est dotée d'un forage. Cela représente l'arrivée d'un programme de développement agricole financé par l'État. Les nouvelles parcelles seront distribuées aléatoirement sur les grandes familles. Ces parcelles subissent les mêmes dynamiques que celles du secteur traditionnel. Ce type de dynamiques est représenté par des paramètres au niveau de la classe AISSA du modèle (tableau 13).

Tableau 13 : attributs et caractéristiques de la classe AISSA

Entité	Nom de la variable	Type de variable	Valeur	Unité/type	Catégorie	détails
AISSA	Ratio de fonction	Paramètre	30	%	globale économique	C'est le % des propriétaires qui ont un emploi en dehors de l'agriculture, d'après Otmane (2010 : 73) en 1966 74,2% en agriculture, soit 25,8% fonctionnaires.
AISSA	Possibilité de Forage	Paramètre	1	Booléen	globale économique	cela veut dire que c'est possible pour une famille de faire un forage si elle possède les moyens et les conditions
AISSA	T-initialisation	paramètre	13	mois	AISSA contrôle	au début de la 2ème année, on calcule les besoins en eau des parcelles, on considère que cette première année correspond à l'état d'équilibre entre les besoins des parcelles et les débits des foggaras (cela vient de littérature qui dit que les parcelles correspondent à la quantité d'eau reçue
AISSA	T-debutMEV	paramètre	120	mois	AISSA contrôle	après 10 ans (120 mois), on installe le périmètre de mise en valeur, c'est on commence par 1970, donc c'est en 1980 qu'il est installé
AISSA	nombre de parcelles	paramètre initialisation	1 à 3	parcelle	AISSA initialisation	à l'initialisation chaque grande famille possède entre 1 et 3 parcelles, ces valeurs viennent de nos observations du terrain
AISSA	âge des GrandesF	paramètre initialisation	0 à 18	an	AISSA initialisation	à l'initialisation, l'âge des familles est hétérogène, comme ça les divisions sont distribués aléatoirement sur l'échelle du temps (20 ans)
AISSA	Grid	paramètre	180x60	pixel	AISSA initialisation de l'espace	l'espace est initialisé pour avoir des dimensions proches aux cas d'Ouled Aissa, mais aussi aux dimensions spatiales de la majorité des oasis dans la zone d'étude
AISSA	nbParcelles	Paramètre initialisation	30	parcelle	AISSA initialisation de l'espace	le nombre de parcelles dans le secteur traditionnel est choisi de manière à avoir une superficie moyenne de 0,8 ha/parcelle, cette surface on la considère comme au-dessus du minimum (0,7ha) pour qu'un forage soit réalisable, cette valeur est approximative par rapport aux observations du terrain,
AISSA	nbFoggaras	paramètre initialisation	3	foggara	AISSA initialisation de l'espace	le nombre de foggaras est de 3 durant toute la simulation, elles sont réparties sur l'ensemble de l'espace
AISSA	pMEV	Paramètre	22 - 44	parcelle	globale économique	le nombre de parcelles dans le nouveau périmètre installé

3.8. L'état initial et paramétrisation du Modèle :

À l'initialisation, l'espace du modèle est composé en cinq secteurs : le traditionnel (les anciennes parcelles), le moderne (périmètre de mise en valeur), le ksar (habitations), l'extension (nouvelles parcelles hors périmètre de mise en valeur) et l'erg (surfaces dunaires). Les dimensions des secteurs sont proportionnelles aux dimensions de l'oasis d'Ouled Aissa. Le secteur traditionnel est divisé en 30 parcelles irriguées par trois foggaras installées sur le secteur de l'erg et sans aucun forage dans l'ensemble de l'oasis. Ce nombre a été choisi en

comparaison avec la superficie du secteur traditionnel qui est de 24 hectares. Cela permet d'avoir des parcelles d'une superficie moyenne de moins d'un hectare.

La longueur des foggaras a été établie de manière à avoir un débit total d'environ 6 l/s, cela correspond approximativement au débit total de 3 foggaras à Ouled Aissa. En admettant qu'un km de galerie donne en moyenne 2 l/s (Dubost, 1998 : 119), la longueur totale des foggaras est de 3 km. Sachant que la longueur d'une cellule est de 20 mètres, la longueur totale des foggaras est donc de 150 cellules (3 km). Sachant que la superficie totale du secteur traditionnel est de 10 X 60 cellules = 600 cellules, cela veut dire que chaque cellule de la foggara irrigue 4 cellules de l'oasis ($600/150 = 4$). Chaque foggara a un nombre aléatoire de parcelle qu'elle doit irriguer désignées par des limites de colonnes sur la grille spatiale du modèle (par exemple : la première foggara irrigue les parcelles situées entre la colonne X0 et X18). Les besoins en eaux des parcelles sont calculés après la première année de la simulation dans laquelle on considère que la quantité d'eau reçue est suffisante.

Chaque parcelle dans le secteur traditionnel appartient à un propriétaire. Ce dernier appartient à une grande famille composée aléatoirement de un à trois membres (propriétaires de parcelles). Ainsi, la grande famille a l'accès à ses parcelles à travers ses membres propriétaires et chaque membre de la famille est lié aux parcelles de ses frères à travers le lien à la grande famille. Cette organisation reflète la notion de la famille élargie qui caractérise le Touat, Gourara et Tidikelt et qu'on a constatée dans nos enquêtes sur l'oasis d'Ouled Aissa et dans d'autres oasis de la zone (cf. chapitre III). À l'initialisation, l'âge de toutes les familles est aléatoirement entre 0 et 18 ans. Cela permet d'avoir des dynamiques de division des familles à des moments différents des simulations (une famille est divisée en nouvelles familles à l'âge de 30 ans). Certains propriétaires des parcelles ont un emploi en dehors de l'agriculture. Le nombre est déterminé selon un paramètre déterminé (30%). Cela veut dire que au début de la simulation 30 % des propriétaires sont des fonctionnaires et chaque année une portion des propriétaires non fonctionnaires aura l'accès à l'emploi. Cette portion est déterminée selon le scénario testé (2%, 6%, 10%).

L'installation d'un nouveau périmètre de mise en valeur se fait au pas du temps mensuel 120 qui correspond à la dixième année de la simulation. Si on considère que la première année de la simulation correspond à l'année 1970, le pas du temps 120 correspond à l'année 1980. C'est approximativement le début des années d'installation des nouveaux périmètres de mise en valeur. Comme nous l'avons constaté aussi dans l'oasis d'Ouled Aissa, le nouveau

périmètre de mise en valeur s'étend sur une surface de 40 hectares, soit environ deux fois la surface de l'ancienne oasis.

3.9. Concepts, hypothèses et théories de base :

3.9.1. La prise de décision :

Dans l'implémentation des comportements des agents, familles ou propriétaires, on a supposé que leur objectif de base est d'avoir un minimum de superficie agricole irriguée dans les différents secteurs possible de l'oasis. Pour les propriétaires, ils visent aussi de trouver une fonction qu'ils mettent en priorité par rapport à la participation à l'entretien de la foggara susceptible d'être remplacée par un forage. Comme on l'a constaté sur le terrain, un propriétaire préfère de trouver un emploi même si cela peut nuire au travail de la foggara et au volume d'eau arrivé dans sa parcelle. Sa stratégie est la diversification de ses revenus qui lui permet prochainement d'assurer ses besoins en eau d'irrigation par l'installation d'un forage. La prise de décision se fait sur deux niveaux, le premier par le propriétaire qui décide sur sa participation à l'entretien de sa foggara et la possibilité de remplacer un frère qui ne peut pas participer, et le deuxième, comme nous l'avons présenté dans le chapitre III dans la section sur l'oasis d'Ouled Aissa, au niveau de la famille qui doit décider l'installation d'un forage et la possibilité d'installation d'une nouvelle parcelle dans le secteur d'extension. Les décisions de la famille sont basées sur les moyens économiques de ses propriétaires et la superficie de ses parcelles.

3.9.2. Les décisions collectives :

Dans ce modèle, la foggara est une infrastructure gérée collectivement par ses propriétaires. On n'a pas intégré explicitement les aspects de communication et de coordination entre ses membres. Néanmoins, la participation d'un membre à l'entretien influe le volume d'eau capté par la foggara et, par conséquent, le volume d'eau reçu par les parcelles de tous les membres. Ce volume va influencer l'état des parcelles et donc les décisions individuelles des autres propriétaires. Comme nous l'avons présenté dans le chapitre I sur les institutions de la foggara, un propriétaire continue à recevoir sa part d'eau même s'il ne contribue pas aux travaux d'entretien.

3.9.3. L'hétérogénéité :

Certains agents sont fonctionnaires et d'autres non. Cette différence est supposée un paramètre économique important dans la prise de décision. Avoir un emploi incite à quitter la gestion collective de la foggara et l'orientation vers l'exploitation individuelle. La superficie agricole attribuée aux familles est aussi différente et les parcelles dans le secteur moderne

sont attribuées à nombre limité de famille. Cela différencie les décisions des familles bénéficiaires de reste de familles. Pour éviter d'avoir les mêmes comportements, comme la division en nouvelles familles, pour toutes les familles et pour le même pas du temps, la taille et « l'âge » des familles font la différence et rendent les agents du modèle hétérogènes. La taille des familles a été rapprochée à ce qu'on a observé en réalité dans l'oasis d'ouled Aissa (*cf.* chapitre III).

3.9.4. La stochasticité :

À l'initialisation, la surface des parcelles dans le secteur traditionnel et le nombre de parcelles attribuées à chaque famille est aléatoire. Pour la situation économique des propriétaires, le nombre de fonctionnaire a été défini à l'initialisation. Il y a par la suite une probabilité annuelle de trouver un emploi par les propriétaires. Le nombre d'enfants dans chaque nouvelle famille créée est défini dans une marge avec une probabilité de se retrouver avec des nombre proches de la situation réelle sur le terrain. Ce nombre joue beaucoup dans l'impact du morcellement sur les parcelles agricoles. Ainsi, la probabilité d'avoir un enfant doit permettre d'un côté d'avoir des familles ayant des tailles proches au cas d'étude d'Ouled Aissa et, d'autre côté, de reproduire le même processus de morcellement.

3.9.5. L'observation :

Les données sont collectées à chaque pas du temps mensuel de la simulation. On a visé des indicateurs sur l'agriculture, la ressource en eau et la situation socio-économique. Les indicateurs enregistrés sont les suivants : le débit total des foggaras, le débit total des forages, le nombre des foggaras dégradées, le nombre de foggaras en cours de dégradation, le nombre de grandes familles, le nombre de forages, le nombre de parcelles, le nombre de parcelles irriguées par forage, le nombre de propriétaires, la surface dégradée totale, la surface dégradée dans le périmètre de mise en valeur, la surface totale en cours de dégradation, la surface irriguée par les forages et la surface des parcelles satisfaite en eau.

4. Conclusion :

Pour contribuer à l'analyse des transformations du système oasien dans le Touat, Gourara et Tidikelt, nous avons choisi l'approche de Modélisation à Base d'Agents (MBA). Cette dernière nous l'avons estimé pertinente pour intégrer les différents champs thématiques concernés dans un même modèle. Ainsi, l'objectif était de construire un outil intégrateur dans lequel des dynamiques sociales, économiques et environnementales peuvent être réunies. Dans ce modèle appelé « AISSA », nous avons intégré les différentes échelles spatiales et

temporelles, chacune avec les dynamiques appropriées. Ainsi, le modèle reproduit l'évolution spatio-temporelle générale décrite dans le chapitre III sur l'oasis d'Ouled Aissa. Le modèle intègre à la fois des concepts liés aux institutions de gestion, à l'hydrodynamique souterraine, à l'évolution du parcellaire, à l'installation d'un nouveau périmètre de mise en valeur et à l'évolution généalogique et organisationnelle des familles des propriétaires.

Nous estimons que modèle construit dans ce chapitre répond au minimum des objectifs fixés au début. Néanmoins, il sera intéressant de le développer de manière à intégrer de nouveaux aspects ou rajouter plus de détails sur les comportements des agents et les dynamiques de certaines entités. Pour mieux explorer ce qui se passe à l'intérieur des parcelles agricoles par exemple, nous mettons en perspective d'intégrer des aspects agronomiques en relation avec le choix des cultures et leur rentabilité économique. En ce qui concerne le modèle hydrogéologique, le modèle peut être calibré par rapport à un cas du terrain sur lequel nous disposons de plus de données. En parallèle, les foggaras peuvent être aussi installées sur une grille spatiale avec une échelle plus fine pour pouvoir reproduire les phénomènes hydrogéologiques d'une manière plus précise. Afin de mieux inclure les dynamiques institutionnelles, nous mettons en perspective de développer une structure institutionnelle indépendante dans le modèle qui permet de représenter les différents types des institutions décrites dans le méta-modèle MAIA.

Chapitre V:

Le Modèle Multi-agents « AISSA » comme outil de réflexion et de discussion pluridisciplinaire sur le système oasien à foggara

Après avoir construit le modèle AISSA (*cf.* chapitre IV), dans ce chapitre nous visons son exploitation. Cette dernière se fait par deux méthodes différentes : la première consiste à utiliser le modèle comme support de discussion avec des scientifiques, des techniciens de terrain et des oasisiens d'Ouled Aissa. Cela nous a permis de relever certains éléments essentiels et problématiques en relation avec les dynamiques dans le système oasien à foggara. La deuxième méthode se fait par un plan d'expérience dans lequel 15 scénarios ont été testés. Dans chaque scénario nous suivons l'impact de différentes transformations socioéconomiques et hydrogéologiques sur l'exploitation de l'eau souterraines et des parcelles agricoles dans les deux secteurs, traditionnel et périmètre de mise en valeur.

1. Introduction :

Notre objectif de l'utilisation de l'approche de la modélisation à base agents est d'intégrer des concepts et des dynamiques issus de disciplines scientifiques différentes dans un même modèle. Dans une première étape (*cf.* chapitre IV), nous avons construit le modèle AISSA qui réunit les dynamiques liées aux transformations sociales, économiques et environnementales dans les oasis à foggara. Par la suite, dans ce chapitre l'objectif est d'exploiter le modèle construit comme support de discussion avec des scientifiques issus des disciplines différentes, des techniciens du terrain et des oasiens. Nous supposons que cela permettra de converger les points de vue autour de l'analyse des dynamiques liées aux transformations récentes dans les oasis de Touat, Gourara et Tidikelt. En parallèle, l'analyse des simulations de quelques scénarios nous permettra d'examiner l'effet de certains paramètres socioéconomiques et hydrogéologiques sur l'évolution du système oasien. Cela permet d'un côté de rendre visible certaines interactions entre les différentes composantes du système et, d'autre côté de mettre de nouvelles perspective pour le développement du modèle.

2. Exemple de type d'histoire pouvant être racontée avec le modèle AISSA par la présentation commentée d'une simulation :

Nous présentons dans cette section une simulation choisie du modèle AISSA. Il s'agit de la simulation que nous avons présenté à l'université d'Oran 2 à des chercheurs de différentes disciplines (géographie et hydrogéologie) spécialistes de la région, à des oasiens d'Ouled Aissa et à des techniciens des services administratifs en relation avec les programmes de développement des oasis et d'aménagement des foggaras (*cf.* section suivante). Nous présentons ici la simulation de manière narrative pour que le lecteur puisse voir l'histoire racontée par le modèle, les interfaces de visualisation des résultats et l'histoire mise en débat à Oran avec les chercheurs, à Adrar avec les techniciens et à Ouled Aissa avec les oasiens.

2.1. L'observation des fenêtres de visualisation :

Dans cet exemple de simulation, la figure 30 présente l'état initial et la figure 31 l'état au pas du temps 300, soit 25 ans et la figure 32 présente l'état en fin de simulation (50 ans). On peut voir dans la figure 30 l'interface de visualisation de l'état initial du système (pas du temps 0). Elle est composée de trois fenêtres A, B et C :

- Les deux fenêtres A et C représentent le même espace géographique du modèle :

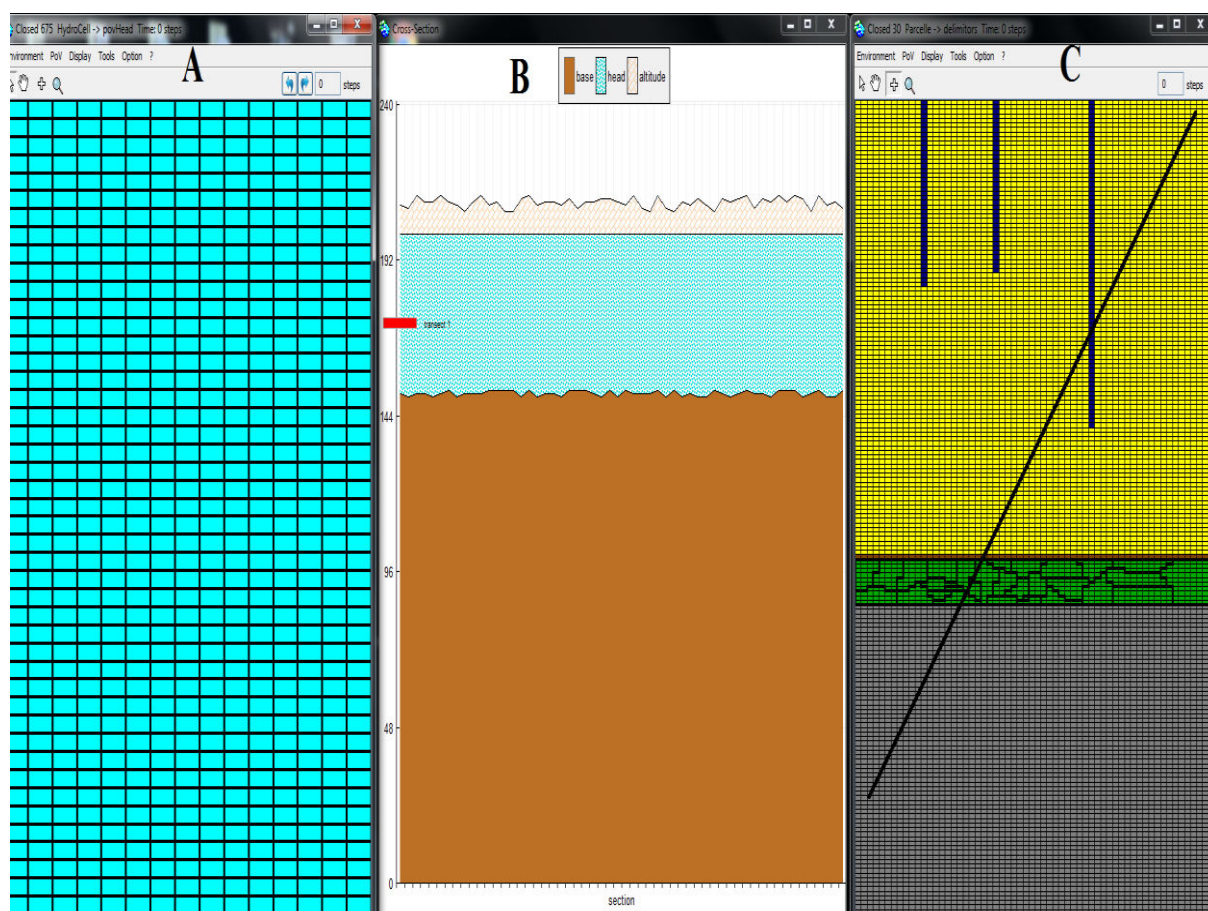


Figure 30 : vue spatialisée de l'état initiale du modèle, état de surface, la nappe souterraine et une coupe hydrogéologique

○ La fenêtre A montre le niveau de la nappe d'eau souterraine avec des hydro-cellules composées de « 4 X 4 » cellules de base du modèle. Le niveau de la nappe est représenté par trois couleurs différentes en relation choisies selon le degré de sensibilité des ouvrages de captages (forages et foggaras) aux rabattements de la nappe. A l'initialisation le niveau piézométrique est de 200 mètres, il est représenté par la couleur cyan. Cette couleur change en bleu clair après un rabattement de 20 centimètres. Cette dernière valeur a été choisie en référence aux explications des oasisiens qui considèrent que les foggaras sont sensibles au moindre rabattement. En réalité, et d'après les explications des experts locaux des foggaras, la galerie capte seulement les eaux du toit de la nappe sur une profondeur de 10 à 20 centimètres⁵⁹. Ainsi, la couleur change du bleu clair au bleu foncé entre les deux valeurs 199.80 mètres et 170 mètres (entre 0.2 et 30 mètres de rabattement). Cette dernière valeur a

⁵⁹ Selon un expert local de la foggara dans l'oasis de Tasfaout au Touat, il faut éviter d'approfondir la galerie de plus de 20 centimètres car cela d'un côté génère plus de coûts en montant vers l'amont et, d'autre côté, si la galerie est plus profonde en aval, elle peut diminuer la quantité d'eau capté en amont et donc réduire les parts d'eau des propriétaires qui ont fait le travail.

été choisie en relation avec nos observations du terrain dans l'oasis d'Ouled Aissa car à partir de ce niveau les paysans trouvent des difficultés pour accéder à l'eau souterraine en raison des coûts élevés pour l'approfondissement des forages et leur équipement. Au-dessous du niveau piézométrique de 170 mètres (soit 30 mètres de profondeur), les hydro-cellules prennent la couleur marron.

- La fenêtre C montre l'état de surface avec une grille de cellules de base du modèle (20 X 20 mètres). Elle représente en particulier l'état des parcelles et des foggaras. Pour les parcelles agricoles, elles peuvent prendre trois états différents. L'état bon pour les parcelles satisfaites en eau d'irrigation (vert foncé), l'état moyen pour les parcelles qui n'ont pas reçu suffisamment d'eau d'irrigation (vert clair) et l'état dégradé pour les parcelles abandonnées à cause des petites quantités d'eau reçue et considérées très insuffisantes pour l'exploitation (couleur jaune).

Pour l'état des foggaras, elle passe aussi par trois stades déterminés uniquement par rapport à la contribution des propriétaires aux travaux d'entretien sans prendre en considération le niveau piézométrique de la nappe (*cf.* section dynamique de la foggara. chapitre IV). La couleur bleue signifie que la foggara bien entretenue. Dans le cas d'un manque d'entretien, la foggara prend la couleur orange. Si le niveau d'entretien est faible ou nul, la foggara prend la couleur rouge.

- La fenêtre B représente une coupe hydrogéologique entre deux points de l'espace du modèle. Le tracé de la coupe est montré par un trait noir sur la fenêtre C. la coupe permet de suivre l'évolution du niveau de la nappe d'eau souterraine tout au long de la simulation. Les trois couleurs représentent le substrat géologique (couleur marron foncé), l'aquifère (couleur bleu) et le relief topographique (marron clair). Dans cet exemple de simulation présenté pour les chercheurs, les techniciens du terrain et les oasiens, nous avons mis une nappe d'une épaisseur de 50 mètres. Ce choix a été fait après les discussions menées avec un hydrogéologue qui nous a expliqué la présence de plusieurs niveaux ayant des caractéristiques hydrodynamiques différentes sur les mêmes endroits de la nappe (*cf.* section de discussions sur le modèle).

Après 25 ans de simulation (figure 31), on peut voir dans la fenêtre C qu'une foggara est à l'état dégradé (couleur rouge) et deux foggaras sont en bon état (couleur bleu). Cela veut dire que ces dernières ont eu un taux de participation à l'entretien de plus de 60 % pour cinq années consécutives. Dans le secteur traditionnel, deux parcelles sont dégradées et

abandonnées (couleur jaune), 13 parcelles déclarent un manque d'eau pour l'année écoulée et donc un état en cours de dégradation (couleur vert clair) et le reste de parcelles sont satisfaites en eau (couleur vert foncé). Dans le secteur moderne, sur les 20 nouvelles parcelles mise en place, trois parcelles déclarent un grand manque d'eau (couleur jaune). La coupe hydrogéologique (fenêtre B.) montre un léger rabattement dans sa partie droite qui représente la zone du secteur du périmètre de mise en valeur. Le rabattement est dû aux pompages sur les forages installés sur chaque parcelle dans ce secteur. À gauche (fenêtre A), le modèle de la nappe montre deux zones de rabattement du nord au sud. Dans la partie des foggaras au nord, son niveau a légèrement baissé de 20 cm au moins sur les hydro-cellules occupées par les foggaras et leur aire d'influence. Dans le sud, le rabattement est plus important et résulte de l'installation des forages dans le nouveau périmètre de mise en valeur et dans une bonne partie des parcelles dans le secteur traditionnel. L'aire d'influence de ces forages est plus importante que celle des foggaras.

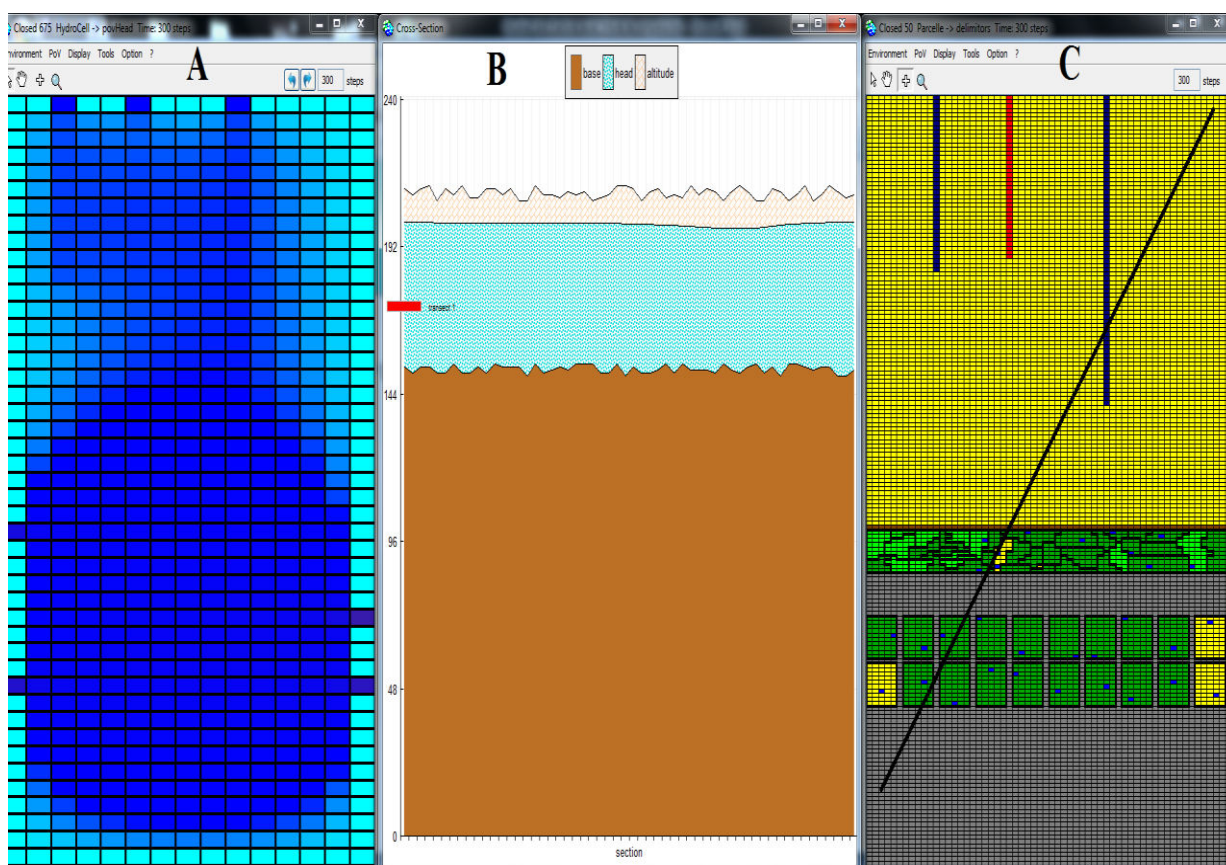


Figure 31 : situation après 300 pas du temps mensuel (25 ans)

Dans ce scénario, la réalisation de forages dans le secteur traditionnel est permise et une grande famille peut réaliser un forage (cf. chapitre IV). Elle regarde ses parcelles (qui sont les parcelles de ses membres propriétaires) et elle calcule le total des superficies des parcelles qui

ne sont pas satisfaite en eau (volume d'eau reçue de l'année précédente est de moins de 80 % des besoins). Si cette surface totale est au moins égale à 0.7 ha (*cf.* chapitre IV, section sur le choix des paramètres), la grande famille regarde s'il y a au moins un fonctionnaire parmi ses membres. Sa présence signifie une situation économique favorable à la réalisation du forage. Ce dernier est installé sur la plus grande parcelle non satisfaite de la grande famille et irrigue l'ensemble des parcelles qui avaient besoin d'eau.

Dans l'exemple à la fin de la simulation (pas du temps 600 soit 50 ans) (figure 32), une foggara est à l'état moyen (couleur orange) et les deux autres sont en bon état. L'état de la foggara du milieu est amélioré par rapport à la situation au pas du temps 300 (figure 31). Par contre, la première foggara à gauche est passée de l'état bon à l'état moyen. L'état de ces foggaras change en fonction du taux de participation qui peut être dû à deux facteurs : l'évolution démographique, et le taux d'accès aux nouveaux emplois. Si ce dernier taux est faible par rapport au nombre de propriétaires sans fonction, ces derniers ont moins de moyens financiers pour installer des forages et participent donc à l'entretien. Paradoxalement, seulement 13 parcelles dans le secteur traditionnel déclarent un manque d'eau et aucune parcelle n'est dégradée, malgré les rabattements qui ont touché à une grande partie de l'espace du modèle hydrogéologique dans lequel le niveau de la nappe est passé au-dessous du niveau des galeries des foggaras (fenêtre A). L'explication est dans l'accès de beaucoup de propriétaires à l'emploi, ils ont abandonné la participation à l'entretien des foggaras et ont mis en place de nouveaux forages.

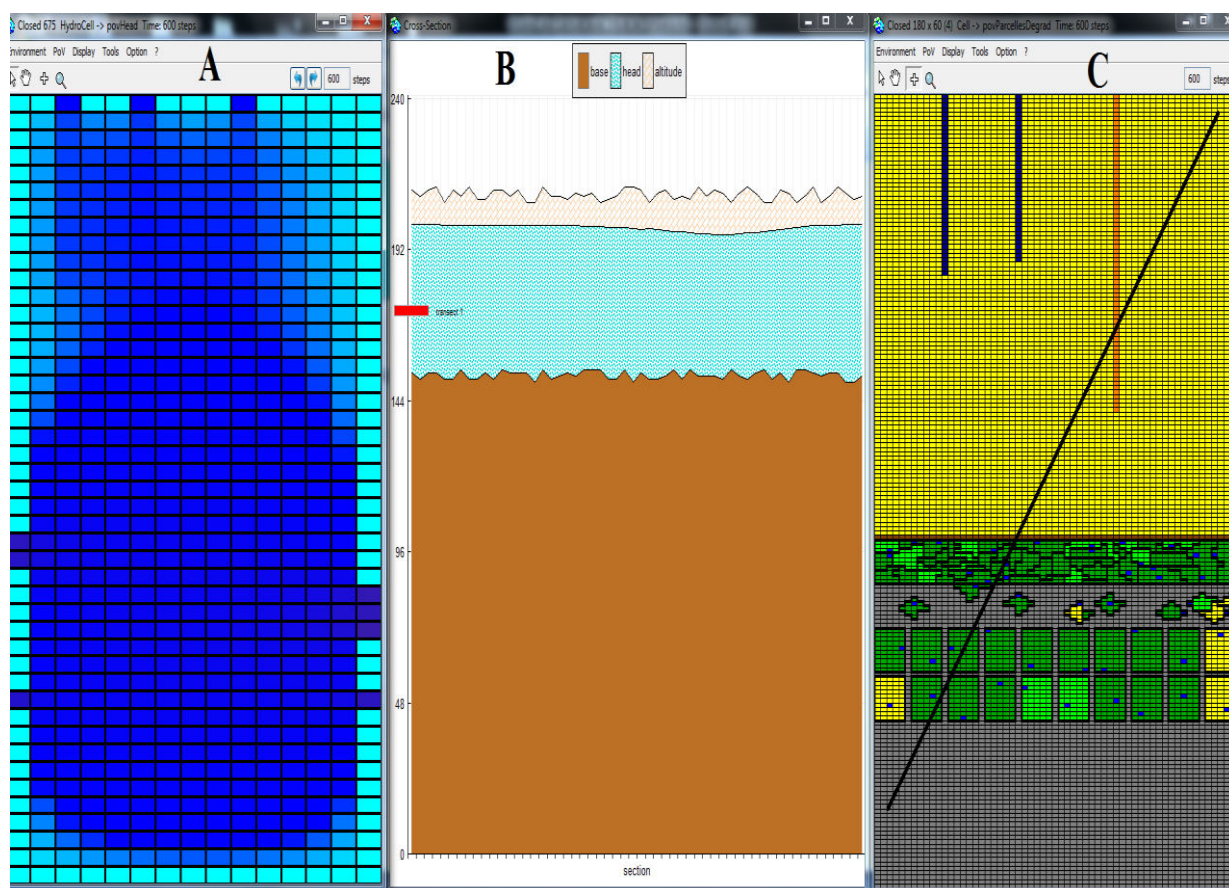


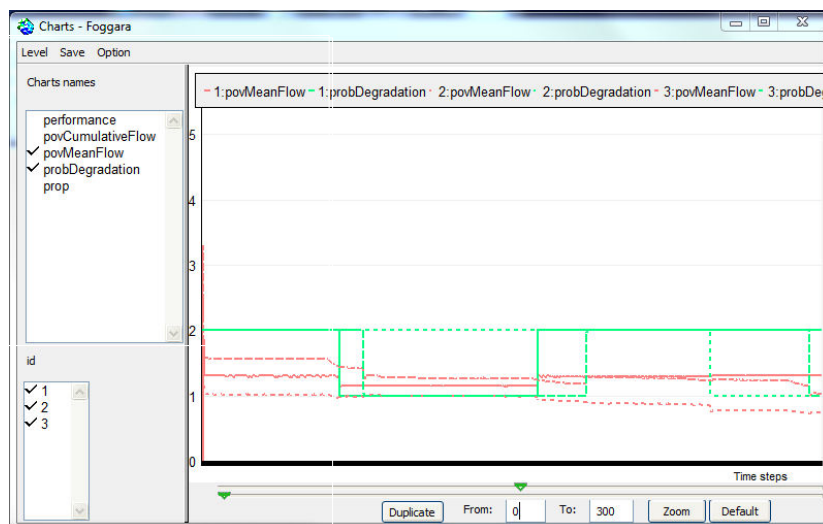
Figure 32 : état du modèle à la fin de la simulation (pas du temps 600 = 50 ans)

Dans le secteur moderne, deux parcelles sont en cours de dégradation et trois parcelles sont complètement dégradées. Cela est dû au grand rabattement du niveau de la nappe qui se rapproche du niveau de 170 m. Sur le modèle de la nappe, l'impact des forages installés dans le secteur moderne est bien visible avec une aire d'influence beaucoup plus grande que celle des foggaras.

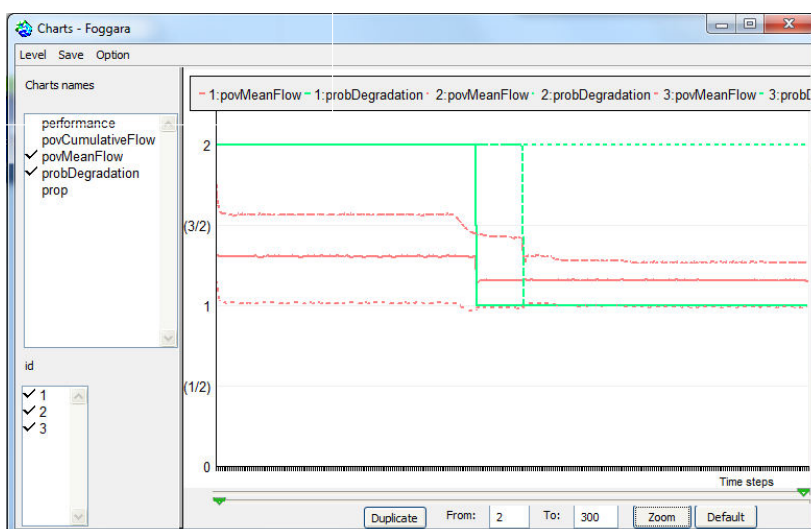
2.2. L'observation des paramètres enregistrés :

Les enregistrements des débits des foggaras et de leurs états permettent de suivre leurs évolutions et de distinguer une diminution de débit due au manque d'entretien d'une autre due au rabattement de la nappe (figure 33). Les enregistrements ont été réalisés sur une autre simulation que celle présentée dans la section précédente. Néanmoins, les paramètres du modèle restent les mêmes dans les deux simulations.

*- Enregistrement au cours de 50 ans de simulation. En vert, l'état des foggaras dont la valeur 2 signifie Bon, la valeur 1 signifie moyen et la valeur 0 signifie faible. En rouge les débits des foggaras.



*- Zoome sur les premières 25 années de la simulation (300 pas du temps). Deux foggaras passent à l'état moyen ce qui engendre une diminution brutale dans leurs débits. En parallèle, des diminutions légères de débits sont dues au rabattement dans le niveau piézométrique.



*- Zoome sur les 25 dernières années. Les deux foggaras reviennent à l'état bon avec une petite augmentation dans leurs débits. Néanmoins, les diminutions dues au rabattement de la nappe continuent tout au long du reste de la simulation. A la fin les trois foggaras restent actives dont deux donnent encore des débits de plus de 1 l/s.

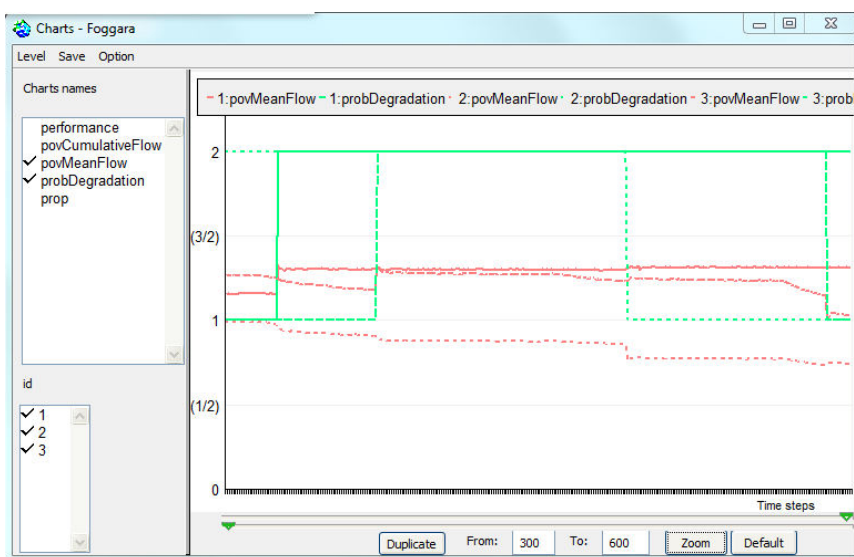


Figure 33 : enregistrement des débits et l'état des foggaras au cours d'une simulation de 50 années

3. AISSA, un outil de discussion avec les scientifiques, les techniciens du terrain et les oasiens :

Le modèle a été présenté pour trois groupes différents : des scientifiques de l'université, des ingénieurs du terrain à Adrar et des oasiens à l'oasis d'Ouled Aïssa. Les discussions sur le modèle ont engendrées des types de très différentes en fonction du public ciblé. Ces discussions ont porté sur plusieurs aspects techniques, sociaux et économiques.

3.1. La discussion avec les scientifiques :

Les scientifiques étaient de domaines différents (géographie, hydrogéologie). Les discussions portaient sur des questions issues des deux domaines. Sur le modèle de nappe, l'hydrogéologue a souligné la difficulté de calibrer le modèle. Il suppose que les données existantes sont limitées et souvent manquent de précision et par conséquent l'interférence entre les forages et les foggaras reste méconnu. Plus en détail, il suppose que la situation hydrogéologique dans la zone d'étude fait des disparités sur deux niveaux :

« Horizontalement, entre les trois parties de la zone d'étude, Touat, Gourara et Tidikelt, et souvent même au niveau de la même zone ». Nous avons vérifié ce propos sur les coupes lithologiques de trois forages réparties sur la zone de Touat (Adrar, Tamentit et Reggane). Les coupes confirment cette hétérogénéité de la lithologie (Annexe 3), et donc des conditions hydrodynamiques souterraines, d'un endroit à un autre de Touat. Cette hypothèse se confirme aussi par la grande différence dans les débits exploitables entre les trois forages : 50 l/s à Adrar, 39 l/s à Tamentit et 20 l/s à Reggane.

« Verticalement, la nappe du continental Intercalaire ne doit pas être prise comme un seul ensemble. Il faut bien distinguer les faciès de cette même nappe : parfois, on assiste à une superposition de deux faciès différents séparés par une ou plusieurs couches peu ou très peu perméables ». Les dynamiques entre les deux dépendent de la nature lithologique, des conditions hydrodynamiques locales et des exploitations faites par les foggaras et les forages sur le site. Ce propos nous a mené à consulter quelques coupes lithologiques réalisées sur des forages dans la zone d'étude (forages à Badriane et Tamine dans le Gourara, à Tammest et Tlillane dans le Touat, ...) (Baba, 2000; Belbali, 2014; Belbali & Kaim, 2002). Nous avons constaté dans ces coupes qu'il y a souvent la présence des couches d'argile parfois plastiques sur des profondeurs qui varient entre 20 et 55 mètres et avec des épaisseurs de 10 à 20 mètres.

Mis à part certains mémoires d'ingénieurs, élaborés sur les données disponibles, les études existantes sont souvent sur des grandes échelles (Gonçalvès *et al.*, 2013; Mansour, 2007; Oss.,

2003a, 2003b, 2003c; Ould Baba Sy, 2005; Petersen, 2014) et ne permettent pas une bonne connaissance à l'échelle d'une oasis représentée dans le modèle. L'hétérogénéité dans les conditions lithologiques aura par conséquent des effets sur l'hydrodynamique souterraine, ce qui rend difficile de décrypter l'interférence possible entre les exploitations dans les forages et les foggaras.

Le géographe s'intéresse plus à l'aspect intervention et aménagement. La première question était sur le manque de certains aspects qui peuvent être déterminants dans certaines oasis comme les problèmes de salinité, d'ensablement et les disparités socioéconomiques entre les trois parties de la zone d'étude. La question suivante porte sur la possibilité d'utiliser le modèle pour aider à la décision sur les foggaras prioritaires dans les interventions de l'État. On a expliqué la difficulté de prise de décision sans un minimum maîtrise du contexte local. Il n'y a pas encore un bon mécanisme mis en place pour limiter l'installation des forages dans l'aire de captage des foggaras. En plus, on ignore encore l'aire d'influence des forages et des puits déjà existant. Il évoque le rôle de l'Agence Nationale des Ressources Hydrologiques (ANRH) qui valide les autorisations d'installation des puits et des forages et maîtrise bien le contexte hydrogéologique à travers le réseau des piézomètres réparties sur la zone. L'hydrogéologue intervient une autre fois pour évoquer l'ambiguïté susceptible d'avoir lieu dans un contexte pareil. La méconnaissance des caractéristiques fines du terrain peut nuire à la précision des résultats sur lesquelles les décisions sont prises. Outre ce handicap, une bonne partie des forages et surtout des puits restent illicites. En pratique, l'ANRH délimite des aires de protection de foggaras et sur lesquelles aucune exploitation par puits ou forage n'est autorisée. Cela sans doute contribue à la préservation des foggaras mais il reste, néanmoins, peu précis par rapport aux impacts possibles.

Trois éléments peuvent être relevés de cette discussion : *primo*, l'intérêt que porte chacune des interventions nous renvoie aux objectifs de l'élaboration du modèle. La pluridisciplinarité des études sur le système oasien reste théorique et limitée. Ainsi, nous visions l'élaboration d'un outil intégratif qui permet de mettre cette pluridisciplinarité en pratique. En effet, bien que chacun des intervenants discute plusieurs aspects intégrés dans le modèle (le social, l'économique et l'environnemental), le niveau de précision des questions varie d'un aspect à un autre. *Secondo*, les incertitudes que porte chaque intervenant à son domaine par rapport aux autres domaines considérés plus sûrs et maîtrisables. Les chercheurs en sciences humaines pensent que les domaines des sciences physiques sont mieux maîtrisés et leurs résultats sont plus précis. C'est le cas ici de l'hydrogéologie considérée par le géographe

comme moins problématique car mieux maîtrisée par des outils techniques et des méthodes de calculs précises, contrairement aux autres aspects socioéconomiques plus difficiles à résoudre. Le modèle, à ici bien joué son rôle d'objet frontière puisqu'il a permis aux deux chercheurs d'expliquer à l'autre les incertitudes liées à leurs disciplines respectives (ici l'hydrogéologue a pu expliquer pourquoi les données de l'ANRH n'étaient pas aussi précises que ne le pensait le géographe). *Terzo* et le plus important pour notre thèse, ces discussions montrent un très peu d'intérêt apporté à l'aspect institutionnel des foggaras. Le contexte hydrogéologique et la question des interventions d'aménagement préoccupent les discours à différents niveaux au détriment du rôle de la structure institutionnelle de gestion des foggaras.

3.2. La discussion avec les techniciens du terrain :

Par la présentation du modèle à deux ingénieurs du terrain (un hydraulicien et un hydrogéologue), dont un chercheur, nous avons fait un constat plus ou moins semblable. Les deux ingénieurs appartiennent à l'Observatoire de la Foggara, un organisme de l'État chargé des études diagnostiques sur les foggaras. Les travaux de l'observatoire portent sur les différents aspects du système oasien, social, économique, hydraulique, hydrogéologie, ...etc. Néanmoins, la discussion portait surtout sur la problématique d'interférence forage et foggara. La première question de l'hydrogéologue est venue très vite et avant même de commencer la présentation : « *avec le modèle, est-ce qu'on peut délimiter les aires de protection des foggaras sur lequel on peut interdire l'installation de forages et des puits ?* ». La même question d'incertitude sur l'interférence entre les forages et les foggaras se pose une autre fois. Pour le technicien de l'administration, une fois cet aspect est réglé, le reste est maîtrisable et moins difficile. Après la présentation du modèle, la discussion continue toujours sur la question hydrogéologique de la zone et des cas de terrains pour montrer l'incertitude des études hydrogéologiques actuelles. Cette discussion relève aussi le même regard disciplinaire, et physique, au problème par les techniciens du terrain que par les chercheurs. Dans tous les organismes techniques qui interviennent dans les opérations d'aménagement et de réhabilitation des foggaras, et même de l'ensemble de l'espace oasien, les études portent principalement sur les aspects techniques (physiques) du problème. Les autres aspects socioéconomiques apparaissent dans ces études seulement sous formes monographiques très descriptives. Dans les organismes visités lors de notre travail de terrain depuis 2010, nous n'avons pas rencontré de spécialiste dans les questions sociales ou économiques de ces oasis. Le personnel était toujours fait des ingénieurs et techniciens hydrogéologues, hydrauliciens et agronomes.

3.3. La discussion avec les oasiens :

Dans une troisième étape, le modèle a été présenté à cinq oasiens de l'oasis d'Ouled Aissa. Le groupe se compose de personnes d'âges, de niveau d'études et des activités différents (tableau 14). L'atelier a duré environ 2h et a été intégralement enregistré. Dans la suite du texte nous désignerons les participants par leur activité.

Tableau 14 : caractéristiques du groupe des oasiens auquel a été présenté le modèle

N°	âge	Niveau d'étude	Activité
1	43	Moyen	Transporteur de voyageurs
2	42	Moyen	Cuisinier
3	36	Secondaire	Policier
4	36	Secondaire	Agent de l'administration
5	34	Universitaire	Gestionnaire-économe

Après la présentation du modèle, nous avons lancé une simulation avec les mêmes paramètres de la simulation présentée dans la première section de ce chapitre. Le but est de montrer les dynamiques et les indicateurs que nous pouvons observer. Le changement de l'État des parcelles et des foggaras était le premier élément qui a attiré leur attention. Ils commencent à discuter en parallèle pour faire le lien entre une parcelle dégradée dans le modèle et son équivalent sur le terrain. Ils ont appelé les trois foggaras du modèle par les noms des trois foggaras encore fonctionnelles dans l'oasis. Le cuisinier qui possède une parcelle de deux hectares dans le nouveau périmètre de mise en valeur, suit l'état d'une parcelle située approximativement sur le même endroit dans l'espace du modèle. Petit à petit, une bonne partie des parcelles dans le secteur de mise en valeur ont été comparées aux noms des propriétaires qui possèdent des parcelles dans des situations similaires dans la réalité. À un moment donné, trois parcelles du secteur de mise en valeur ont changé d'état, de bon à moyen. Un membre dit « *leur localisation spatiale semble très proche en réalité de celle des parcelles de ma grande famille et la grande famille de Kada [le transporteur]* ». En parallèle une foggara dégradée a été comparée à une foggara qui a été entretenue ce jour même et qu'on a visité avant de faire la réunion. Pour le cuisinier, que nous avons rencontré participer à l'entretien le matin : « *c'est ce qu'il va arriver à la foggara si on ne participe pas à son entretien*⁶⁰ ». Nous avons posé une question sur les sanctions appliquées en cas de non

⁶⁰ La participation à l'entretien de la foggara est une règle au sens institutionnel d'Ostrom.

participation à l'entretien et si on peut arriver jusqu'à exclure les non participants de leurs parts d'eau ? La réponse était : « *il y avait des sanctions mais qui n'arrivent pas à les exclure du groupe des propriétaires et cela jusqu'aux années 1982 ... actuellement ces règles ne sont pas appliquées car le monde a changé* », on a demandé comment et pourquoi ? Kada répond : « *pour pouvoir appliquer les mêmes règles, il faut que les foggaras et les anciens jardins aient la même valeur ... pour cela, il faut couper la route, l'électricité et tout les autres réseaux qui nous relient à la modernité, ... sinon les propriétaires qui trouvent d'autres opportunités ailleurs ne vont pas les rater pour travailler les foggaras ... même ceux qui participent encore sont moins motivés pour appliquer ces sanctions car souvent ils ont d'autres revenus en dehors des jardins* ». Cet argument nous renvoie à l'importance de la force des institutions (cf. chapitre I). Nous avons demandé si les propriétaires qui ne participent pas à l'entretien continuent quand même à exploiter leurs parcelles ? La réponse du policier était « *non* », alors que le cuisinier confirme l'inverse en disant que : « *beaucoup des non participants aux entretiens continuent à exploiter leurs parts d'eau dans leurs parcelles, ...* », il commence à citer les noms pour argumenter, cela a fait changer l'avis du policier. On est revenu sur l'analyse de Kada, qui a expliqué le recul du secteur traditionnel par le manque d'intérêt causé par l'ouverture des oasis sur l'extérieur, et lui demandé : Si cette ouverture des oasis était la cause de diminution d'intérêt dans les anciennes parcelles, comment peut-on expliquer alors le fait que beaucoup des oasiens de l'oasis ont exploité dans le secteur de mise valeur ? Pour lui : « *d'un côté, la majorité des exploitations ont été financées par l'État. De l'autre côté, les gens pensaient que l'exploitation dans les périmètres de mise en valeur va être facile comme dans les anciens jardins ... [On lui demande de s'expliquer ?], ... jusqu'au début des années 1990, la nappe était sur deux, trois ou quatre mètres de profondeur au maximum. Le palmier dattier nécessitait l'irrigation pendant ses trois à cinq premières années seulement. Après, ses racines atteignent la nappe et même sans irrigation la production était importante. Les gens ont exploité les parcelles dans le nouveau périmètre car ils pensaient que ça sera pareil. Mais quelques années après, la nappe baissait et les palmiers ne donnent pas de résultat sans irrigation ... au début des années 2000, on a déjà compris ça, mais l'arrivée du soutien de l'État [PNDA] fait que tous le monde cherchait l'équipement de sa parcelle, de l'agrandir ou même commencer sur une nouvelle, ... dans tout les cas ils avaient rien à perdre tant que c'est l'État qui finance tout* ».

Cette lecture nous renvoie à la question sur les frontières entre l'agriculture oasienne et l'agriculture saharienne (cf. chapitre III). Si les oasiens sont sortis des anciennes oasis, c'est

pour essayer de les reproduire sur une échelle plus grande et avec le soutien de l'État. Les exploitations installées hors des nouveaux périmètres de mise en valeur sont généralement en contact de l'ancienne oasis avec des superficies qui ne dépassent pas 1 hectare. Par contre, dans le nouveau périmètre les exploitations ont de superficies entre 2 et 8 ha. Ainsi, l'échec dans le périmètre de mise en valeur est étroitement lié à la réussite des oasiens d'intégrer leurs pratiques oasiennes et leur capacité à façonner de nouvelles institutions pour favoriser une action collective qui permet d'affranchir les contraintes liées au milieu naturel et au nouveau contexte socioéconomique de la zone.

En synthèse des discussions, les réactions de différents groupes d'acteurs face au modèle confirme notre hypothèse présentée au début du chapitre précédent. En plus de l'avantage d'intégration de plusieurs thématiques que donne ce modèle multi-agents, il est aussi utile comme support de discussion entre les différents groupes d'acteurs ou même pour les membres d'un même groupe ayant des points de vue différents sur le système étudié. Les discussions ont permis de faire un croisement de ces points de vue, d'éclairer la complexité du système et de montrer les incertitudes dans les différents domaines thématiques.

4. Le plan d'expériences :

L'objectif de l'élaboration du modèle AISSA est de concevoir un outil qui sert à un support de discussion intégrateur entre les différents acteurs et scientifiques de domaines différents. L'hypothèse émise ici, est que cela permette une meilleure utilisation de l'approche pluridisciplinaire et de converger les discours issus de domaines différents sur l'analyse et l'interprétation des dynamiques du système oasien à foggara. Les discussions menées sur le modèle dans une première étape dans ce chapitre, sont surtout qualitatives et portent sur le choix des dynamiques de différents agents et entités du modèle. Dans cette deuxième phase, la simulation du modèle sert à avoir quelques éléments quantitatifs sur des scénarios différents. Cela permet de mieux évaluer l'importance de chacun des paramètres dans l'évolution du système.

Les scénarios ont été élaborés de manière à tester l'effet de différents paramètres : hydrogéologique (forages et hydrodynamique) et socio-économique (programmes de développement agricole, marché de travail, ...). Huit paramètres ont été choisis pour tester ces hypothèses avec deux à trois modalités pour chaque paramètre. Le système subit l'influence de deux facteurs exogènes qui ne sont pas issus des dynamiques locales du modèle. Le premier facteur est environnemental et lié à la quantité d'eau dans la nappe souterraine. Cette

dernière peut être influée par la recharge issue des précipitations qui peuvent avoir lieu loin de la zone et sans relation avec le système modélisé ou par les captages dans d'autres endroits de l'aquifère en dehors de l'oasis modélisée. Le deuxième facteur est économique et lié aux nouvelles opportunités de travail dans l'oasis ou à l'extérieur, mais issues d'autres dynamiques nationales ou régionales et non maîtrisables ou niveau local.

Les simulations ont été faites avec la modification de la modalité d'un seul paramètre à chaque fois (one at a time) et sans modifier les valeurs initiales des autres paramètres (tableau 15). À l'issue, 15 scénarios ont été testés avec 50 répétitions pour chacun, soit 750 simulations en total. Les indicateurs choisis pour l'observation sont enregistrés dans chaque pas du temps mensuel, soit 600 observation pour chaque simulation.

Tableau 15 : Valeurs des paramètres dans les scénarios de la simulation

stepME V	reyNumbe r	limitMV A	profondeu r	storativit y	conductivit y	base	probaJobParAn
240	1	142	20	0.05	0.000006	0	0.02
360	1	142	20	0.05	0.000006	0	0.02
240	0.25	142	20	0.05	0.000006	0	0.02
240	0.5	142	20	0.05	0.000006	0	0.02
240	1	153	20	0.05	0.000006	0	0.02
240	1	164	20	0.05	0.000006	0	0.02
240	1	142	40	0.05	0.000006	0	0.02
240	1	142	20	0.02	0.000006	0	0.02
240	1	142	20	0.1	0.000006	0	0.02
240	1	142	20	0.05	0.000003	0	0.02
240	1	142	20	0.05	0.000009	0	0.02
240	1	142	20	0.05	0.000006	50	0.02
240	1	142	20	0.05	0.000006	100	0.02
240	1	142	20	0.05	0.000006	0	0.06
240	1	142	20	0.05	0.000006	0	0.1

5. Quelques résultats de simulation :

Les résultats ont été analysés de manière à montrer l'effet des trois variables suivantes :

- a- les paramètres hydrogéologiques ont été regroupés dans une seule variable qui représente l'état de la nappe (aquifère). Chaque modalité de la variable aquifère est issue de la combinaison entre les paramètres hydrogéologiques : le niveau du substrat de la nappe (base), la conductivité hydraulique (conductivity), le coefficient d'emmagasinement (storativity).

- b- La situation du périmètre de mise en valeur agricole issue de la combinaison de deux paramètres du modèle AISSA : La date de la mise en place du périmètre (StepMEV), et la taille du périmètre mis en place (LimitMVA).
- c- La probabilité pour les propriétaires de parcelles d'avoir un emploi stable : cette probabilité représente un taux d'accès au travail en dehors du secteur de l'agriculture chaque année. Il a un effet sur la participation des familles au travail des foggaras, le travail des parcelles par les propriétaires et la capacité des familles à mettre en place des forages pour l'irrigation.

5.1. Effets sur les volumes d'eau exploités :

Les figures 34, 35 et 36 montrent successivement les effets des périmètres de mise en valeur, de l'accès au travail en dehors de l'agriculture et de l'état de la nappe sur les volumes d'eau exploités (flow) dans chaque pas de temps hydrogéologique⁶¹ par les foggaras et les forages dans les deux secteurs traditionnel et moderne.

5.2. Effet du périmètre de mise en valeur :

La figure 34 montre que les volumes d'eau exploités sont beaucoup plus sensibles à la taille du périmètre de mise en valeur qu'à la date de sa mise en place. Ainsi, pour les forages, les volumes d'eau exploités sont entre 650 et 700 m³, par pas de temps hydrogéologique, lorsque la taille du périmètre de mise en valeur est de 80 ha (taille : 164), entre 500 et 550 m³ lorsque la taille du périmètre est de 60 ha (taille : 153) et entre 400 et 430 m³ lorsque la taille du périmètre est de 40 ha et cela indépendamment de la date de sa mise en place (1990 et 2000). Avant l'installation du périmètre de mise en valeur, les eaux exploitées par les forages concernent le secteur traditionnel uniquement et ne dépassent pas 100 m³. Dans les foggaras, les volumes sont généralement un peu moins de 200 m³ durant les années qui précèdent la mise en place du périmètre de mise en valeur. Le volume se stabilise dans les environs de 140 m³ juste après l'installation du périmètre et indépendamment de sa taille et de l'année de l'installation. Les petites fluctuations annuelles brutales (même avant l'arrivée des forages) dans les volumes d'eau captés par les foggaras sont dues surtout au manque d'entretien, alors que celles dues aux forages sont plus légères, sauf pour la première année d'installation, et s'étalent sur des périodes plus longues.

⁶¹ Le pas de temps hydrogéologique est calculé en fonction de la taille des cellules du modèle et il est généralement de moins d'un jour. Plus de détails sur les discrétisations spatiales et temporelles sont donnés dans la partie consacrée au modèle de nappe dans ce chapitre (Ravazzani *et al.*, 2011) et <http://cormas.cirad.fr/en/applica/demoAquifer2.htm>

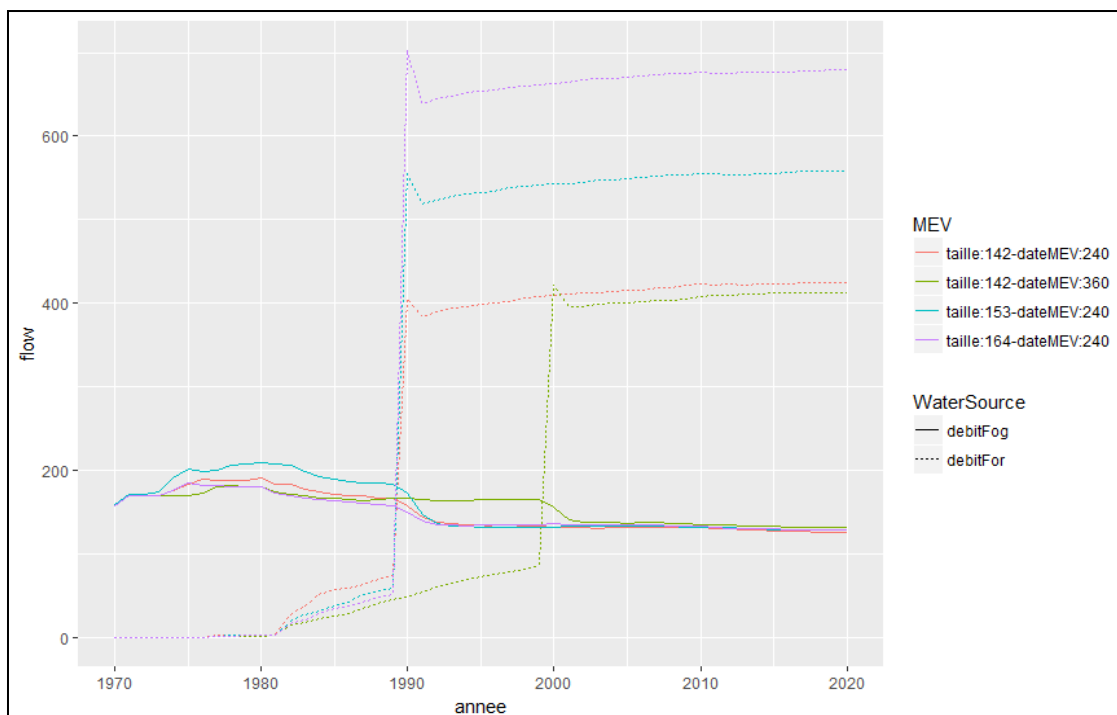


Figure 34 : évolution des volumes d'eau exploitée par les foggaras et les forages selon la taille et la date de la mise en place du périmètre de mise en valeur

5.3. Effet de l'accès à l'emploi :

La figure 35 montre une relation directe (positive) entre l'accès au travail⁶² et le volume d'eau exploité par les forages et une relation inverse (négative) avec le volume exploité par les foggaras. Pour les forages, cette relation est claire depuis le début d'installation des forages dans le secteur traditionnel en 1981 et jusqu'au la mise en place du périmètre de mise en valeur agricole en 1990. En ce qui concerne les foggaras, la relation inverse se voit surtout après 10 ans de simulation (1980). Cela est dû à l'amélioration de la situation économique des propriétaires qui ont exploité dans l'installation de nouveaux forages et par conséquent la diminution de leur contribution à l'entretien des foggaras qui changent d'état et donc captent moins d'eau.

⁶² Les valeurs 0.02, 0.06 et 0.1 signifient successivement des taux annuels d'accès au travail de 2, 6 et 10 % des propriétaires.

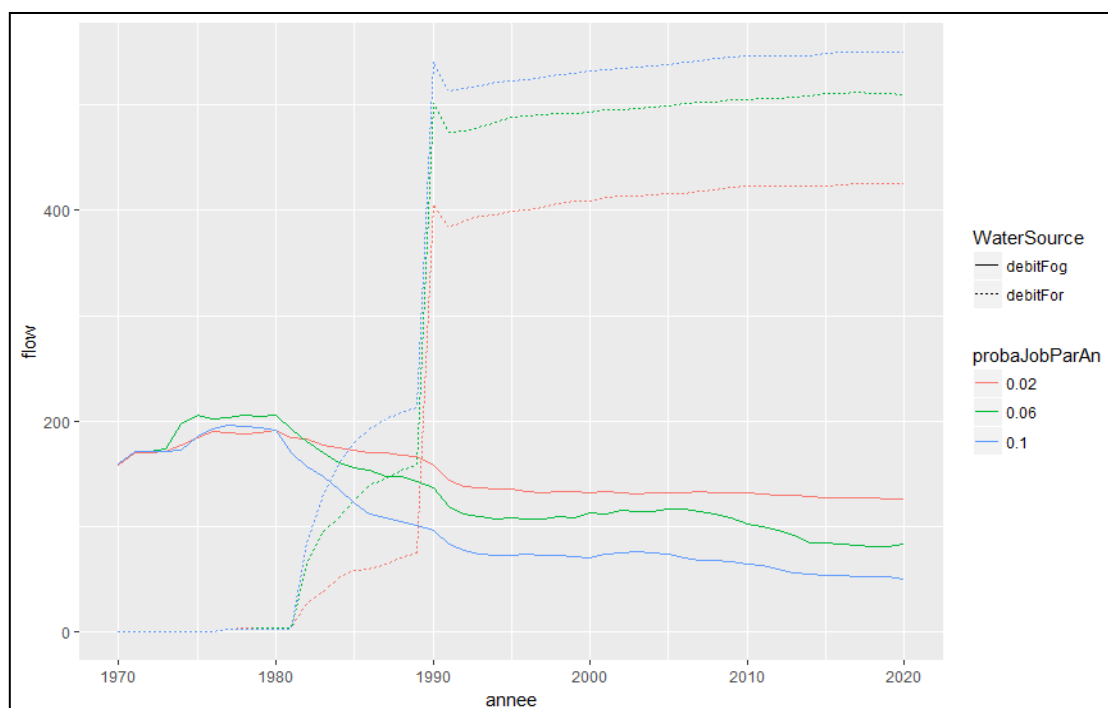


Figure 35 : évolution des volumes d'eau exploitée par les foggaras et les forages selon le taux d'accès au travail

5.4. Effet des conditions hydrogéologiques :

La figure 36 montre l'effet des conditions hydrogéologiques sur les volumes d'eau exploités par les forages et les foggaras. Les courbes montrent que l'exploitation par les forages est moins sensible, que l'exploitation par les foggaras, aux conditions de la nappe. Le paramètre hydrogéologique qui a plus d'effet est le coefficient d'emmagasinement dont pour les deux valeurs minimale 0.02 et maximale 0.1 les forages exploitent successivement les volumes les plus bas (en rouge : 130 m^3) et les plus hauts (en bleu : 900 m^3) de la simulation. Pour les autres scénarios, ayant le même coefficient d'emmagasinement, les volumes d'eau exploités par les forages restent entre 375 m^3 et 440 m^3 . Pour l'exploitation par les foggaras, les volumes d'eau exploitée sont plus sensibles aux conditions hydrogéologiques et la conductivité hydraulique a moins d'effet par rapport aux autres paramètres. En absence de l'effet des autres paramètres du modèle sur cette figure, les scénarios liés à l'état de la nappe aquifère ne peuvent pas justifier une relation inverse entre l'installation des forages et la régression des débits des foggaras. Ainsi, quand les autres paramètres sont à l'état d'initialisation (état nominal), les foggaras continuent à exploiter des volumes d'eau assez intéressants jusqu'à la fin des simulations.

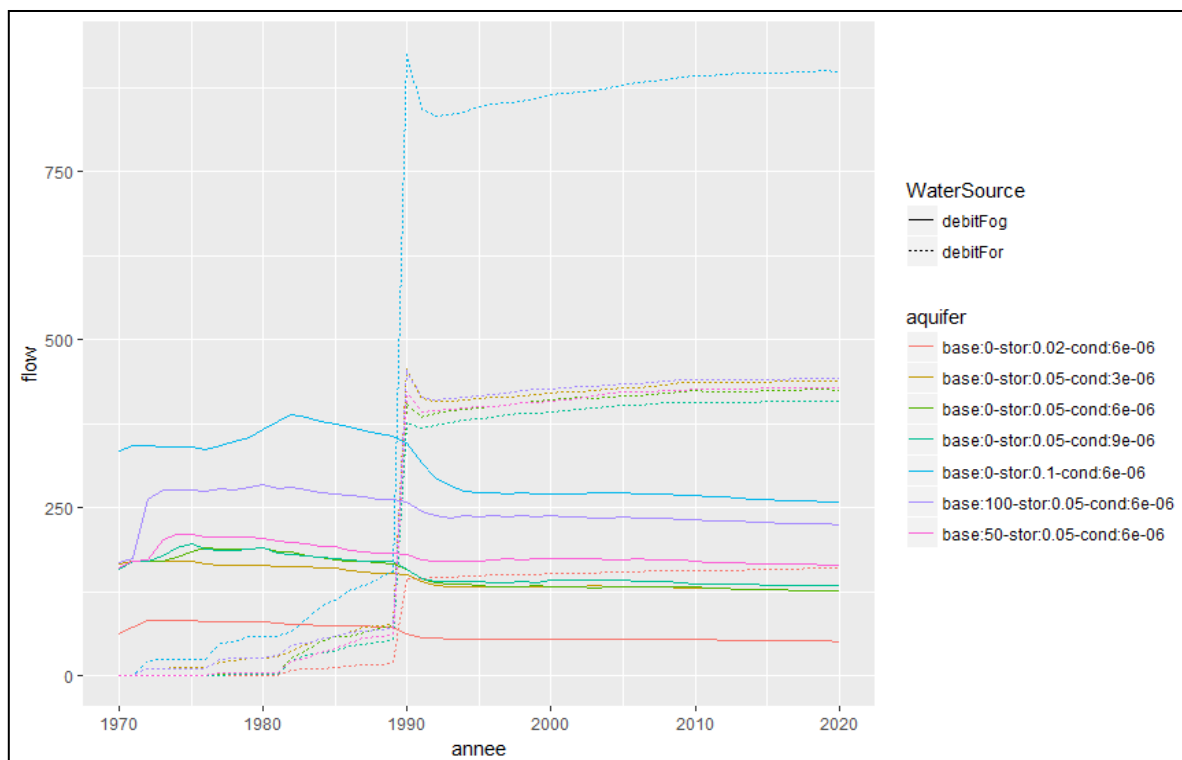


Figure 36 : évolution des volumes d'eau exploitée par les foggaras et les forages selon l'état de la nappe aquifère

5.5. Effets sur les volumes d'eau consommés et les superficies agricoles :

Pour mesurer l'effet des trois types de paramètres (hydrogéologie, périmètres de mise en valeur et l'accès à l'emploi sur le système oasien à foggaras dans le Touat, le Gourara et le Tidikelt, deux paramètres semblent adéquats pour cet effet. La moyenne des volumes d'eau consommée et la moyenne de la superficie des terrains agricoles dégradés (soit les parcelles qui ne reçoivent pas suffisamment d'eau). La figure 37 montre l'effet de la combinaison de tous les paramètres testés dans le plan d'expérience (15 scénarios) sur la moyenne de l'eau consommée et la moyenne de la superficie dégradée pour le dernier pas du temps des simulations (année 2020, pas du temps 600). Cette figure montre qu'il n'y a pas de relation de cause à effet entre l'eau consommée et les superficies dégradées. Les volumes d'eau consommés sont beaucoup plus influencés par les conditions hydrogéologiques et les superficies dégradées sont plus influencées par, en premier lieu, la taille et la date de la mise en place du périmètre de mise en valeur et, en second lieu, par le taux d'accès à l'emploi en dehors du secteur agricole. Le plus important dans cette figure est la situation des trois points en bas qui représentent un minimum de consommation en eau accompagné d'un minimum de terrains dégradés aussi. Cela représente les scénarios dans lesquels l'accès à l'emploi est au minimum (0.02 soit 2%), et la situation de la nappe est dans l'état d'initialisation (état

moyen). Cela peut être expliqué par le maintien du travail d'entretien des foggaras par les propriétaires non fonctionnaires et donc qui n'ont pas les moyens pour installer des forages. En parallèle, le maintien des foggaras diminue le besoin en forages qui ont en total des débits plus importants (i.e. c'est ce que nous avons aussi observé sur le terrain : sur les mêmes parcelles irriguées auparavant par des foggaras de quelques litres de débits, les propriétaires ont aujourd'hui installé plusieurs forages pour exploiter des débits beaucoup plus importants afin d'irriguer la même superficie). Par contre, les superficies dégradées sont plus importantes lorsque le taux d'accès au travail est élevé (0.06 (6%) et 0.1 (10%)). Les propriétaires abandonnent l'entretien des foggaras pour installer de nouveaux forages. Avec leur généralisation, les forages surexploitent la nappe et devient moins productifs, cela augmente la superficie dégradée.

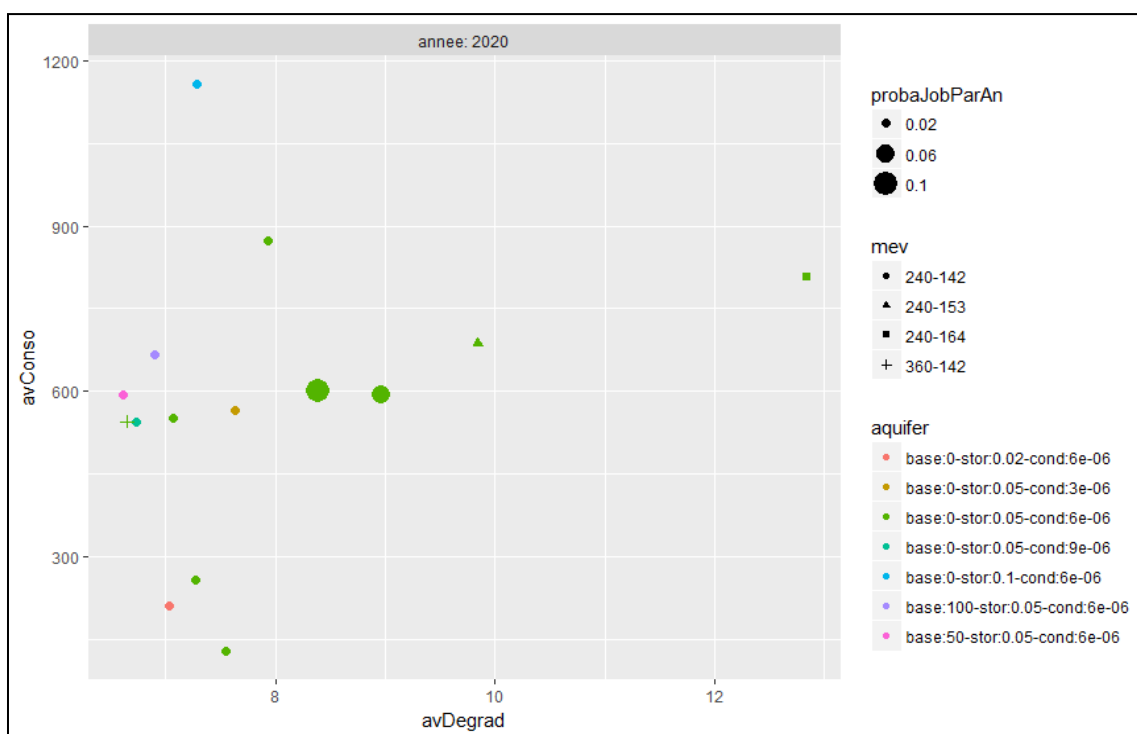


Figure 37 : la consommation moyenne en eau et la superficie moyenne dégradée à la fin des simulations selon les 15 scénarios testés

5.6. Effets sur l'installation des forages et sur la satisfaction en eau d'irrigation :

Concernant l'effet de l'accès aux nouvelles techniques d'irrigation sur la préservation des superficies agricoles, la figure 38 représente le nombre moyen de forages à la fin des simulations et la superficie agricole moyenne non satisfaite en eau en 2020, selon les 15 scénarios testés. La figure montre qu'il n'y a pas de relation claire entre la réalisation de forages et la superficie non satisfaite. Néanmoins, le nombre de forages réalisés est

étroitement influencé par le taux d'accès à l'emploi en dehors du secteur agricole ($\text{probaJobParAn} = 0.06$ soit 6 % et 0.1 soit 10 %), mais sans effet significatif sur les superficies non satisfaites qui restent généralement entre 17 et 20 ha, à l'exception pour les deux scénarios dans lesquels des superficies plus grandes ont été mises en valeur dans le nouveau périmètre et le scénario de référence dans lequel les conditions de la nappe, le taux d'accès à l'emploi et la situation du périmètre de mise en valeur sont à l'état nominal d'initialisation.

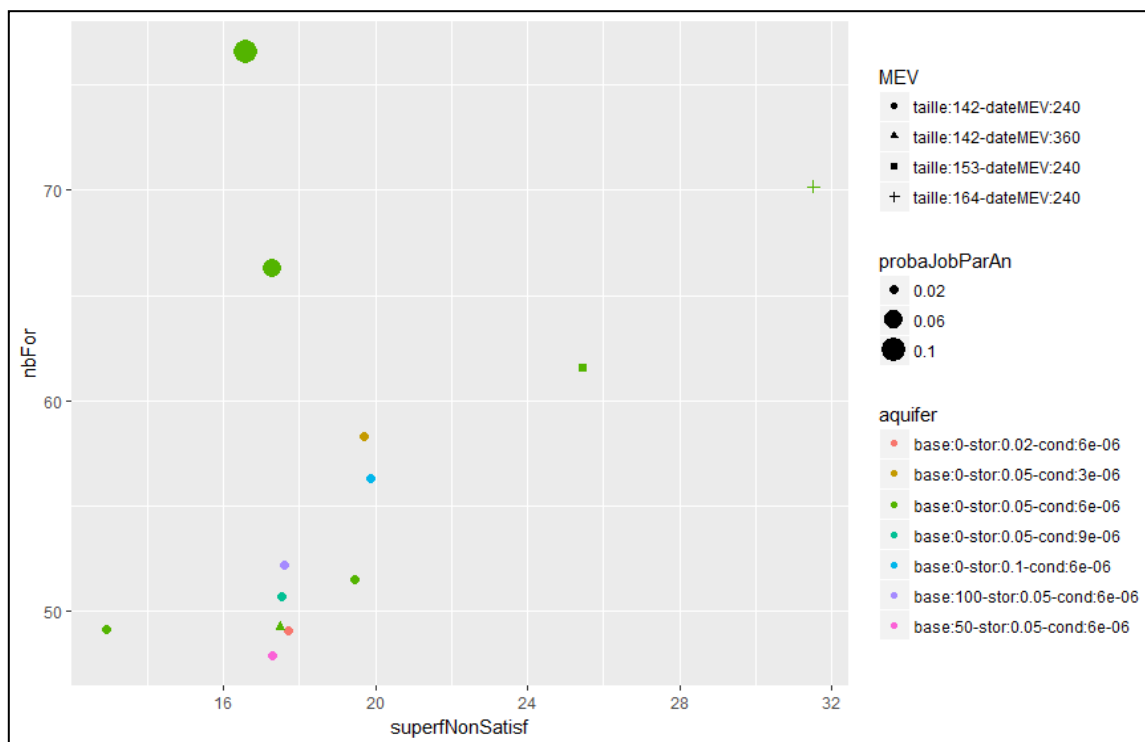


Figure 38 : le nombre moyen de forages et la superficie moyenne non satisfaite la fin des simulations selon les 15 scénarios testés

La figure 39 montre la superficie totale moyenne non satisfaite en eau d'irrigation (superficie dégradée et en cours de dégradation) dans les deux secteurs, traditionnel et moderne, et la superficie totale moyenne des parcelles irriguées par les forages à la fin de la simulation (année 2020, pas du temps n° 600). Plus de superficies sont dotées de forages dans les deux scénarios dans lesquels des grands périmètres de mise en valeur ont été mis en place (80 et 100 ha). Cela n'a empêché d'avoir aussi de grandes superficies agricoles non satisfaites en eau d'irrigation (25 et 32 ha) que nous pouvons expliquer par l'incapacité des forages d'assurer l'eau d'irrigation pour l'ensemble des parcelles de mise en valeur. L'explication est aussi en relation avec 1)- le potentiel hydrogéologique local de la nappe qui ne permet pas à tous les forages de pomper simultanément et 2)- la situation économique des familles (dans

les scénarios, les forages peuvent avoir des profondeurs de 20 ou 40 m, qui sont parfois insuffisants pour l'irrigation). Pour le reste de scénarios, c'est le taux d'accès à l'emploi qu'a plus d'effet sur la superficie irriguée par forage et par conséquence sur la superficie non satisfaite. Les autres scénarios en relation avec la nappe souterraine n'ont pas d'effet remarquable sur la superficie irriguée par forage sauf pour le scénario d'initialisation (62 ha irrigués par forages et seulement 4 ha non satisfaites).

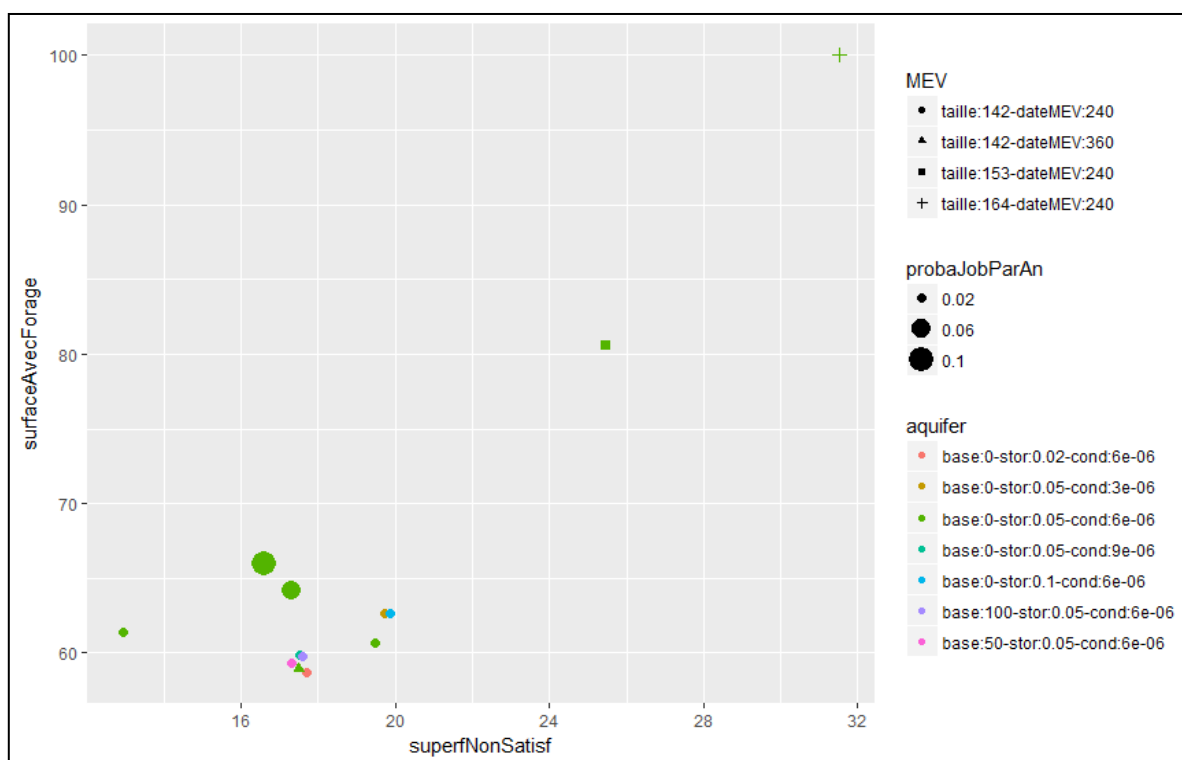


Figure 39 : la superficie moyenne irriguée par forage et la superficie moyenne non satisfaite à la fin des simulations selon les 15 scénarios testés

5.7. Effets sur les deux secteurs, traditionnel et périmètre de mise en valeur :

Pour montrer l'effet de l'accès au travail et des conditions de la nappe sur les superficies dégradées (parcelles abandonnées), les 39 et 40 représentent les superficies dégradées selon les scénarios liés à ces paramètres et selon le secteur. Pour les paramètres liés au périmètre de mise en valeurs, ils sont identiques pour les différents scénarios dans les deux figures (tailles : 40 hectares, date de mise en place : 1990). La figure 40 montre qu'il y a un minimum de superficie dégradée, 7 hectares dont 1.5 hectares dans le secteur traditionnel, lorsque le taux d'accès au travail est au minimum (2 %). Cette superficie dégradée atteint son maximum lorsque le taux d'accès au travail est de 6 % et un peu moins lorsqu'il est de 10%. Dans ce dernier cas, l'explication est la capacité de beaucoup de propriétaires à réaliser des forages et pour le premier cas (2%), il y a moins de forages, et donc moins de rabattement dans la nappe,

mais plus de participation à l'entretien des foggaras. Cela explique aussi cette différence dans la superficie dégradée entre les deux secteurs.

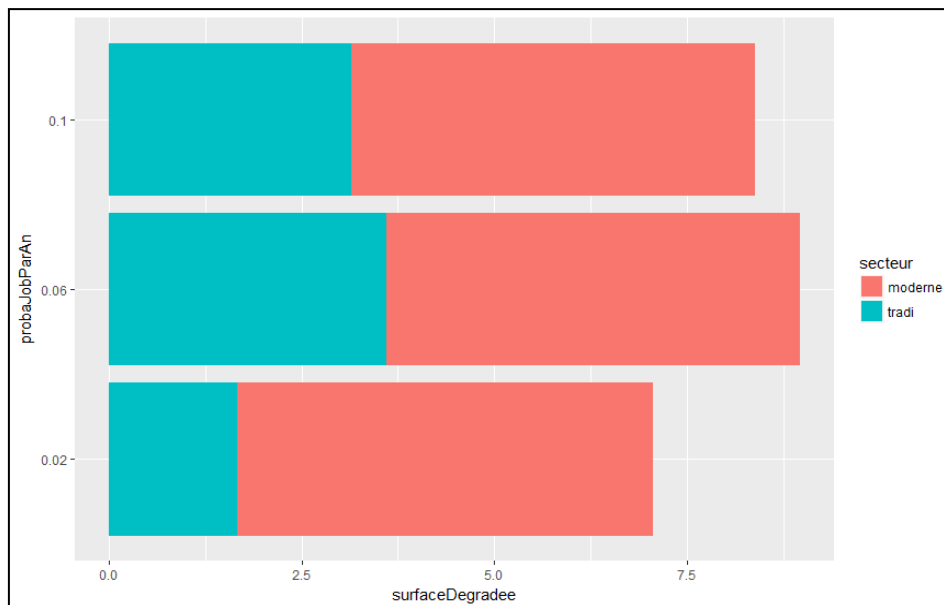


Figure 40 : la surface moyenne dégradée à la fin des simulations dans les deux secteurs et selon le taux d'accès au travail

La figure 41 montre qu'il n'y a pas de relation de cause à effet entre les conditions de la nappe et la superficie dégradée. La plus petite superficie dégradée est enregistrée dans les conditions suivantes : la base de la nappe est de 50 m, le coefficient d'emménagement de 0.05 et la conductivité de 1×10^{-6} m/s. dans d'autres situations de la nappe, considérées plus favorables, les superficies dégradées sont un peu plus grandes.

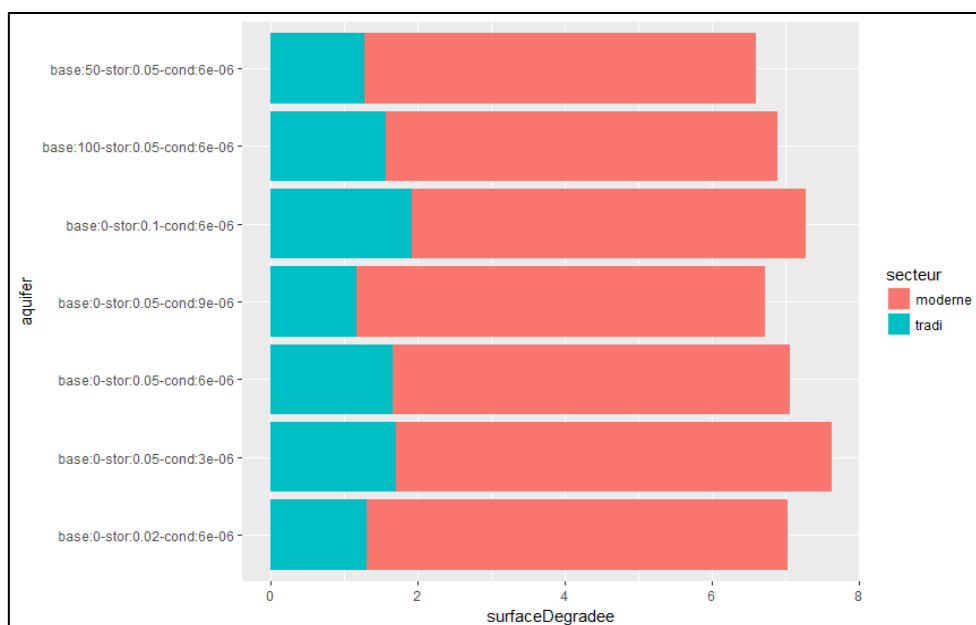


Figure 41 : la consommation moyenne en eau et la superficie moyenne dégradée à la fin des simulations selon les 15 scénarios testés.

6. Conclusion:

L'utilisation de l'outil multi-agents pour l'analyse des transformations dans le système oasien à foggara était dans le but d'intégrer les différents facteurs par une approche pluridisciplinaire. Pour arriver à cette fin, trois sous-modèles ont été intégrés dans le but de représenter les contextes hydrogéologique, socioéconomique et institutionnel. Le modèle élaboré a permis aussi de réunir des phénomènes sur des échelles spatiales et temporelles différentes. Il met en explicite la génération de certains phénomènes sur l'échelle macrogéographique à travers d'autres dynamiques aux échelles micro et mésogéographique.

La présentation du modèle auprès des scientifiques, des techniciens et des oasiens a permis de dévoiler certains aspects qui ne nous semblaient pas auparavant problématiques, à l'instar de l'incertitude sur les interactions forage-foggara. Pour ces dernières, il sera intéressant de les explorer à travers plusieurs approches dont la modélisation multi-agents. Cela permettra de mieux maîtriser ces interactions horizontales (hétérogénéité du terrain) et verticale (différentes faciès) afin d'aider les techniciens sur le terrain dans la prise de décision sur la délimitation des aires de protection des foggaras.

La discussion du modèle avec les oasiens a montré leur intérêt à intégrer le rôle des institutions dans leurs explications et cela confirme l'hypothèse que nous avons déjà montré

dans le chapitre I de cette thèse. L'utilisation du modèle comme outil et support de discussion a permis aussi de faire des échanges de différents points de vue sur le système sans forcément resté sur une approche classique de transfert de connaissance entre les scientifiques et les acteurs du terrain. Cela nous amène à mettre en perspective le développement du modèle et son utilisation avec l'approche de modélisation d'accompagnement afin de mieux valoriser les connaissances et les savoir-faire locaux dans l'étude de ce système et l'accompagnement des acteurs locaux dans la prise collective des décisions.

Le plan d'expérience analysé a permis de tester l'effet de certains paramètres, en particulier les conditions hydrogéologiques, l'accès à l'emploi et la mise en place de nouveaux périmètres de mise en valeur sur l'exploitation des eaux souterraines, le maintien des foggaras et l'exploitation des parcelles agricoles. Le plan d'expérience utilisé (un scénario pour chaque paramètre et pour chaque modalité) a montré une diversité dans les résultats des scénarios testé et donc des situations susceptibles d'avoir lieu dans la réalité. Comme perspectives, il sera intéressant de tester certains scénarios dans lesquels on combine les différentes modalités de paramètres afin de soulever certaines relations qui n'ont pas été montrée avec le plan d'expérience testé dans ce chapitre.

Discussion et conclusion générale

Dans cette conclusion nous discutons les résultats de la thèse en relation avec la réflexion scientifique générale qui s'intéresse à l'étude des oasis. Dans une première étape nous montrons l'importance de se procurer d'un regard évolutif envers ces systèmes en générale et les foggaras en particulier. Ensuite, nous discutons l'avenir de l'agriculture saharienne qui manque encore d'une stratégie claire par rapports aux différents enjeux économiques et socio-écologiques. Enfin, nous décrivons les perspectives futures de cette recherche et les principales questions auxquelles nous devons répondre.

1. Introduction

Depuis le début du XX^{ème} siècle, les oasis de Touat, Gourara et Tidikelt ont attiré l'attention des chercheurs qui ont essayé de comprendre leur mode de fonctionnement, l'organisation sociale et spatiale ainsi que les techniques hydrauliques locales (les foggaras) et les pratiques agricoles associés (système de culture, savoir-faire, mode de faire-valoir, ...etc) (Bisson J, 1957; Capot-Rey, 1962; Martin, 1908; Papy, 1959). Après l'indépendance de l'Algérie, en particulier à partir des années 1970, et avec la volonté de l'État d'intégrer les territoires sahariens dans le projet de construction de l'État-nation, de nombreux programmes ont été mis en place afin d'améliorer les conditions de vie de la population locale et renforcer la présence de l'État dans son Sahara. Cela s'est traduit par l'ouverture des oasis sur de nouveaux secteurs d'activité qui ont donné un nouveau souffle à ces oasis enfermée depuis plusieurs décennies à cause de l'interruption du commerce transsaharien. Cette nouvelle situation a suscité des transformations sociales, économiques et environnementales remarquables qui sont à l'origine d'un long débat pessimiste sur le devenir des foggaras, et par conséquent sur le devenir du système oasien, considérées incapable d'affranchir les contraintes liées aux différentes reconfigurations et accompagner le développement d'une agriculture saharienne *moderne*.

De par le monde, la question de durabilité des foggaras (qanat, khattara, falej, karez, ...) et de l'agriculture oasienne face aux différentes transformations récentes et de l'utilisation des moyens d'exhaure modernes a été bien documentée (Elhlers & Saidi, 1989; Goes *et al.*, 2017; Lightfoot, 1996, 2009; Molle *et al.*, 2003; Molle *et al.*, 2004; Wenjun Hu, 2012; Wessels & Hoogeveen, 2002). Dans thèse, nous avons posé de nouvelles questions basées sur le constat d'un regain d'intérêt pour les foggaras. Ainsi, notre objectif était d'expliquer ce regain et analyser les facteurs qui sont derrière. Nous avons également argumenté que la notion du système de foggara doit être élargie pour inclure les institutions et les organisations communautaires de gestion qui expliquent les continuités entre l'ancien système et les nouvelles formes de l'agriculture dans le Touat, Gourara et Tidikelt. Afin de mettre en débat les dynamiques dans le système oasien à foggara, nous avons mobilisé la démarche des SMA qui permet de démontrer et discuter les interactions entre les différentes composantes du système. Ainsi, l'originalité de cette thèse réside dans le changement du regard sur le système de foggaras qui doit être vu comme un système évolutif et adaptable à travers la force de ces institutions de gestion.

2. Avenir des foggaras : ajustements techniques et adaptations institutionnelles

La question de durabilité des systèmes d'irrigation communautaires a fait l'objet d'un long débat dans la littérature scientifique. Les recherches ont surtout pris d'ampleur après la publication de l'article de l'écologiste américain Hardin (1968) intitulé « *The tragedy of the commons* ». Dans son article, Hardin défend l'hypothèse de déclin des communs à cause de la surexploitation issue de la volonté de chacun des membres du groupe de propriétaires d'augmenter son bénéfice de la ressource. Deux décennies après, Ostrom (1990) a montré que les systèmes de gestion des ressources communes peuvent être durables et cela en répondant à 8 principes de gestion qu'elle a trouvés dans la majorité des exemples qu'elle a pris dans ses études. En ce qui concerne le système de foggara, et par une lecture par cette approche « *ostromienne* », nous avons montré que même si le système doit, en partie, sa durabilité séculaire au dispositif hydraulique *ingénieux*, la force des institutions était l'élément central pouvant expliquer la durabilité des systèmes de foggara. Néanmoins, comme le montrent Baggio *et al.* (2016) aussi, nous avons argumenté que la pertinence de nombreux principes est en relation avec le dispositif technique mis en place par les propriétaires. Par la mise en place du peigne de distribution (*kasria*), par exemple, certains principes sont ancrés dans le dispositif technique ce qui réduit le nombre de règles nécessaires au bon fonctionnement de la foggara. Nous montrons donc que certains principes d'Ostrom peuvent être résolus par le dispositif hydraulique.

Cette lecture institutionnelle des foggaras nous a permis de donner une nouvelle interprétation, plus optimiste, aux formes actuelles de gestion des foggaras, auparavant considérées comme formes de rupture et de déclin. En parallèle, nous avons montré que la lecture « *ostromienne* » ne manque pas de l'importance des 8 principes, mais incite vers un autre regard envers ces principes : un moyen pour dévoiler de nouveaux aspects institutionnels intéressants à l'explication de la résilience des communs.

L'analyse historique du système oasien dans le Touat, Gourara et Tidikelt, ainsi que dans d'autres pays du monde, montre de multiples formes d'évolutions et des dynamiques qui ont apporté des ajustements dans les différents aspects du système. En ce qui concerne la gestion de la ressource en eau, et malgré la dominance d'un regard qui fait des foggaras un système figé, la littérature scientifique ne manque pas d'exemples qui prouvent le contraire. Dans ses nombreux travaux sur le Sahara, le Gourara en particulier, Jean Bisson a bien montré la capacité des oasis à foggara à faire face aux différentes contraintes, socioéconomiques et

environnementales. Cette adaptation se fait de manières différentes et dans différents sens : « *évolution hydraulique* [*i.e.* approfondissement des galeries des foggaras, installation des puits à balancier et à motopompes] *et mobilité des terroirs* [*i.e.* déplacement des parcelles vers l'aval, déplacement de l'oasis à l'intérieur de l'erg pour profiter de la nappe peu profonde et faire des cultures à sec] » (Bisson, 1983). Dans le cas des oasis de l'erg dont les paysans sont habitués à déplacer leurs parcelles, l'adaptation fut « *la stabilisation des terroirs* » par l'installation des puits à motopompes. (Bisson, 1990).

Ces formes d'évolution/ajustement par l'introduction des moyens *modernes* ont été bien soulevées dans d'autres systèmes de gestion des ressources communes. Dans l'oasis de Sidi Okba en Algérie, l'accès partagé aux eaux souterraines profondes par pompage a permis « *le renouveau du système irrigué communautaire* » (Hamamouche, 2017). Au sud du Maroc, Khandouch (2000) a montré que « *si la séguia et la khattara dépendent des conditions topographiques pour une irrigation permanente, la moto-pompe a largement gommé ces contraintes topographiques* ». Des constats similaires ont été faits dans d'autres endroits dans le monde (Molle *et al.*, 2003; Wessels, 2012; Wessels & Hoogeveen, 2002).

En parallèle, dans cette thèse nous avons montré que les ajustements dans l'infrastructure physique doivent être accompagnés par une structure institutionnelle adéquate. Cela passe par la mise en place d'une organisation sociale et des règles de gestions fortes qui doivent être assez flexibles pour s'adapter aux différentes contraintes sociales, économiques et environnementales. La résilience du système de la foggara réside dans cette force des institutions qui assurent la continuité dans l'application des règles et de l'action collective. L'ingéniosité du système oasien dans le Touat, Gourara et Tidikelt résulte de la capacité des oasiens qui ont mis en place des foggaras qui ont remplacé d'autres formes de captage en difficulté (Capot-Rey, 1962). Ainsi, le regard figé des foggaras (infrastructure et institutions) prive les oasiens de cette capacité d'adaptation qui était derrière la durabilité séculaire des oasis.

La dynamique institutionnelle dans la gestion des foggaras a connu l'intervention des autorités. Cette intervention se manifeste par la mise en place de nouvelles institutions formelles, les associations. Ces dernières, à l'instar d'autres exemples bien documentés (Araral, 2009; Aubriot & Prabhakar, 2011; Benali *et al.*, 2001; Janty, 2013), ont engendré pas mal de conflits entre les membres des groupes des propriétaires et parfois entre ces derniers et les autorités officielles de l'État. En revanche, comme le montrent aussi Bekkari & Yépez Del

Castillo (2011) au Maroc, ces associations sont parfois instrumentalisées par les paysans afin d'atteindre d'autres objectifs parfois d'ascension sociale, c'est le cas que nous avons montré dans l'oasis de Lahmeur dans le Touat. D'autres fois leur rôle a été limité à la réclamation des aides et des interventions de l'État sans vraiment les intégrer dans les pratiques de gestion de ces systèmes. Cela demande de revoir le rôle de l'État dans la conception des organisations de gestion : il faut penser à de nouveaux modes d'organisation qui permettent à la fois de répondre aux exigences des services de gestion de l'État et d'accompagner l'évolution des institutions informelles maîtrisées par les paysans. Pour maintenir ce système face aux différentes contraintes futures et réussir les futurs programmes de réhabilitation, nous proposons d'élargir la notion de la foggara au-delà de son dispositif hydraulique et technique et lui intégrer les autres aspects liés aux institutions, aux savoir-faire, à l'action collective, à la solidarité et aux réseaux de relations construits ... Il s'agit de préserver le capital social construit durant des siècles et dans lequel on peut investir pour affranchir les aléas du temps dans le futur.

3. Avenir de l'agriculture saharienne : résilience économique, durabilité environnementale ou nécessité sociale ?

Par l'étude de quelques exemples du terrain, nous avons montré que le développement de l'agriculture saharienne dans le Touat, Gourara et Tidikelt n'est pas une mince affaire. La situation des exploitations de la grande et la petite mise en valeur représentent des cas de figures différentes qui dépendent de diverses stratégies et pratiques des agriculteurs. Si l'État a mis de grands moyens techniques et financiers pour augmenter la production de cette agriculture afin d'atteindre la sécurité alimentaire du pays, il est, par contre, bien évident qu'il y a encore beaucoup de questions qui se posent autour des enjeux futurs de l'agriculture saharienne :

- Compte-tenu des potentialités du Sahara algérien (eau, sol, paysanneries, ...) et des contraintes géographiques et climatiques (éloignement, températures, vents, sécheresse, ...), l'agriculture saharienne peut-elle être économiquement résiliente ?
- Comment peut-on concilier entre les objectifs de production et les soucis que cette agriculture peut engendrer sur l'environnement (sols et ressources en eau) ?
- Vu la nature fragile des ressources en eau non ou très peu renouvelables et des sols squelettiques, la surexploitation de ces ressources ne risque-t-il pas de créer des inégalités et contribuer à l'appauvrissement des petits agriculteurs ?

Les différentes politiques agricoles engagées depuis les années 1970 dans le Sahara reflètent sans doute la conviction des aménageurs de la possibilité d'atteindre des objectifs de production qui peuvent limiter la dépendance alimentaire du pays à l'étranger. L'exemple de production souvent cité dans la littérature et même dans les statistiques officielles, dans le but d'argumenter le choix de l'orientation de l'État vers l'agriculture saharienne, est celui de la production du blé (Bendjelid *et al.*, 2004; Bisson, 2003; Côte, 2002; Dubost, 1991). Les statistiques parlent souvent d'une production de plus de 40 quintaux au sud contre 10 à 15 quintaux au nord. En réalité cette comparaison est illusoire car le coût de production et les impacts écologiques ne sont pas identiques. Au nord du pays, l'irrigation dépend souvent des pluies et les sols sont plus fertiles et demandent moins d'amendements. Au sud, par contre, l'irrigation dépend de l'exploitation des eaux souterraines et les sols sont fragiles. Cela génère d'autres coûts de pompage, d'irrigation, de fertilisation des sols et de transport des produits vers les grands marchés au nord. L'autre exemple est celui de la comparaison de la consommation en eau entre la culture du palmier dattier et celle des céréales qui est trois fois moins pour un hectare. En pratique, dans l'agriculture paysanne, cette comparaison n'est pas précise en raison de l'association des cultures : le même volume d'eau utilisé pour l'irrigation du palmier dattier assure l'irrigation d'autres cultures en étages (arbres fruitiers, céréales, légumes, ...).

La question qui doit se poser aujourd'hui est autour des limites de l'exploitation de cette ressource en eau fossile. Il faut chercher à quel moment peut-on parler d'une surexploitation de la nappe par cette agriculture saharienne. Autrement-dit, quel sont les indicateurs d'une surexploitation de la nappe dans les nouveaux périmètres de mise en valeur ? Par conséquent, et sans avoir une réponse claire à cette question, cette exploitation risque de ne pas être rationnels et les nouvelles formes d'agriculture saharienne, la grande mise en valeur en particulier, risquent de nuire à la durabilité socio-écologique des oasis. Si les études hydrogéologiques ont argumenté les grandes potentialités des nappes dans le Sahara, les effets socio-écologiques de la surexploitation, par contre, ne seront pas forcément dépendantes de ces potentialités. Sur une nappe de plusieurs centaines de mètres de profondeur par exemple, un rabattement de quelques mètres peut mettre fin à de nombreuses foggaras et, par conséquent, à de nombreuses oasis. En plus, les petits agriculteurs ne peuvent pas toujours accompagner ces rabattements. Dans le cas de l'oasis d'Ouled Aissa par exemple, très peu de paysans qui ont pu faire des puits de plus de 50 mètres de profondeur. Dans ce cas, ce n'est

pas la disponibilité de l'eau en profondeur qui peut être la contrainte, mais plutôt la capacité des oasisiens d'assurer l'argent nécessaire à l'exploitation.

3.1. L'agriculture saharienne : une question du modèle

L'agriculture oasisienne continue dans les conditions les plus difficiles, car au-delà de la rentabilité économique des parcelles elle répond aux nécessités sociales et environnementales du contexte saharien. Pour l'agriculture saharienne *moderne*, par contre, et vu les objectifs qui ont été fixés, elle ne peut justifier sa réussite que par un maximum de production qui doit satisfaire les agriculteurs et les aménageurs en parallèle. Sur le terrain, nous avons montré que cela n'est pas de tout une mince affaire. Nous avons montré l'émergence de trois modèles/types d'exploitation de tailles, de moyens, de logiques et de pratiques distincts :

- Un premier modèle est celui de l'agriculture rentière sur des grandes superficies (souvent de plus de 50 ha) dont l'investissement dépend en grande partie de la générosité de l'État à travers les crédits et les subventions qu'il offre à ces agriculteurs. Cette priorité est justifiée par la destination de ce modèle à la production des céréales considérées comme la première contrainte vis-à-vis de l'atteinte d'une autosuffisance alimentaire du pays. L'objectif de combler le déficit de l'agriculture du nord par une agriculture irriguée dans l'un des déserts les plus hostiles dans le monde semble paradoxal. En plus des conditions climatiques qui exigent une grande consommation en eau, cette dernière est extraite d'une nappe non ou très peu renouvelable. Comme dans d'autres pays qui ont appliqué ce même modèle dans des environnements hostiles, l'agriculture rentière ou capitaliste semble difficile d'être un modèle résilient en de hors de l'ombre de l'État. Le projet du Complexe Agro-alimentaire du Sud (CAAS) réalisé à Adrar est un bon exemple (Otmane, 2010). Malgré les grands moyens techniques et financiers mis en place (Forages, bassins de stockage, serres multi-chapelles, techniques d'irrigation sophistiquées, unités de transformation, ...), le projet a vu son échec après quelques années d'exploitation. Pour expliquer cet échec, Otmane (2010) conclue par dire que « *les moyens matériels, même les plus performants, ne sont pas les seuls déterminants de la réussite d'un projet d'investissement ; l'environnement social et économique a son poids, et la rigueur de gestion s'avère décisive* ». En Arabie Saoudite par exemple, ce modèle a montré ses limites malgré les niveaux de production atteints et permettaient à ce pays d'être le 6^{ème} pays exportateurs du blé pour plusieurs années (Brun & Calvary, 2016). Néanmoins, les impacts sur les ressources naturelles, en eau en particulier, et la décision du pouvoir de limiter les subventions de l'État depuis le début des années 2000 ont montré combien ce modèle est fragile.

- Le deuxième modèle émergent concerne l'exploitation entrepreneuriale pratiquée par des agriculteurs venus surtout du nord du pays avec leurs propres moyens et leur savoir-faire agricole. Ce type d'agriculture saharienne se trouve face aux difficultés du climat, l'éloignement des marchés et les faibles potentialités des sols squelettiques du désert. Ainsi, ce modèle reste transitoire et vise à maximiser les gains sur des parcelles louées et s'orienter parfois vers le modèle rentier, en laissant, par la suite, la place aux paysans autochtones pour s'installer avec un modèle d'agriculture paysanne. Néanmoins, l'installation de ce modèle à côté des anciennes oasis peut être à l'origine d'un échange de savoir-faire entre les agriculteurs venus du nord et les oasiens.

- L'agriculture paysanne sur les nouveaux périmètres de mise en valeur représente le troisième modèle émergent de l'agriculture saharienne à Adrar. C'est une agriculture pratiquée sur des petites exploitations et reproduit le modèle de l'agriculture oasienne *traditionnelle* qui permet de réduire les contraintes de l'aridité et de l'éloignement par rapport aux grands centres de vie dans le nord du pays. Les paysans réintègrent les mêmes logiques et pratiques héritées de l'ancien système. L'objectif est souvent de subvenir aux besoins des familles avec quelques produits destinés à la commercialisation. Dans certains exemples, ces agriculteurs ont pu transformer cette agriculture en grande partie à une agriculture de marché. Comme on l'a montré dans l'exemple des oasis d'Aoumeh, Haiha, Ajdir et Talmine, ces paysans ont pu saisir leur place dans l'approvisionnement du plus grand marché du Gourara, celui de Timimoune. Cela était à travers le maintien d'une agriculture familiale d'une part, qui permet d'éviter certains problèmes liés à la main d'œuvre par exemple, et d'autre part par le maintien de l'action collective autour de la gestion et la commercialisation de leurs produits. Ce même constat a été bien documenté dans d'autres pays du monde comme le Canada et le Brésil (Machum, 2005; Schneider & Niederle, 2010), où les petits agriculteurs réussissent à adopter de nouvelles stratégies pour maintenir leur agriculture malgré la pression de l'agrobusiness.

En synthèse, nous nous demandons si la réussite de l'agriculture saharienne ne doit pas être basée sur la mise en place d'un nouveau modèle qui répond au contexte local de la zone et réintègre les techniques agricoles modernes à côté des pratiques agricoles paysannes séculaires ? Derrière cette hypothèse, nous estimons également que cela permettra d'atteindre le double objectif de production d'un côté et de durabilité socio-écologique d'autre côté. La réponse n'est certainement assez simple que ça, mais l'examen d'autres atouts et avantages d'un tel modèle de l'agriculture saharienne peut renforcer cette hypothèse :

- D'un point de vue climatique, les produits de contre saison peuvent diminuer les risques liés aux marchés volatils et assurer la résilience économique de cette agriculture ;

- Le savoir-faire local permet d'atteindre une bonne production sans forcément utiliser des engrais et des produits phytosanitaires, cela donne la possibilité, d'une part, de développer une agriculture biologique moins coûteuse et plus adaptée au contexte écologique fragile et d'autre part d'assurer une alimentation saine et réduire les risques liés à alimentaires sur la santé public ;

- La possibilité de s'orienter vers d'autres cultures d'une valeur ajoutée et de valoriser certains produits déjà existants comme les dattes. Sachant qu'aujourd'hui la wilaya d'Adrar est parmi les premières wilayas en production de dattes au niveau national, il est évident que les politiques de développement ont négligé ou sous-estimé ces potentialités. L'ensemble de la wilaya comprend une seule petite unité d'emballage et de transformation qui couvre une quantité de quelques quintaux de dattes, une quantité négligeable par rapport à la production sur l'ensemble de la wilaya ;

- La revivification des anciens réseaux du commerce avec les pays du sud (Mali, Niger, Mauritanie, Tchad, Nigeria, Sénégal, Soudan, ...) pour ouvrir de nouveaux marchés historiquement très demandeurs en produits de la zone de Touat, Gourara et Tidikelt (datte sèches, henné, tabac, ...). Cette tâche semble très possible avec les nombreux réseaux sociaux et religieux encore actifs entre les habitants et les *zawias* de ces pays ;

4. Perspectives de recherche :

L'approche institutionnelle utilisée dans cette thèse nous a permis de montrer l'importance de la structure de gestion dans la réussite de la gestion commune de la ressource en eau et du maintien de l'agriculture oasienne durant des siècles dans un milieu assez hostile que celui du Touat Gourara et Tidikelt. En revanche la question de l'agriculture dans le Sahara, souvent pris comme un ensemble géographique homogène, mérite d'être prise selon les spécificités, socioéconomiques, géographiques et environnementales de chaque partie. Les potentialités du Sahara sont certainement séduisantes pour les aménageurs, mais la réussite du défi nécessite une planification plus attentive à ces spécificités. Ainsi, il sera intéressant de penser à des programmes de développement agricole qui intègrent les différentes parties du Sahara, chacune avec ses spécificités et ses capacités de production.

L'utilisation du modèle multi-agents élaboré AISSA dans cette thèse comme support de discussion, nous a permis de mettre en avant la question de l'interférence réciproque entre les

forages et les foggaras. Cette question à laquelle nous pensions à trouver la réponse auprès des hydrogéologues semble beaucoup plus compliquée et mérite d'être mieux étudiées. Les discussions autour du modèle ont relevé un grand souci sur l'impact des forages sur les foggaras de la zone ce qui met en cause l'approche utilisée par les services de l'ANRH à Adrar. Ces derniers désignent des distances de protection par rapport aux foggaras sans vraiment prendre le contexte hydrogéologique local dans leurs décisions. La démarche de l'ANRH contribue sans doute à la protection des foggaras, mais elle reste très générale et nécessite la recherche sur une méthode scientifiquement plus avérée comme une priorité pour donner des réponses claires et prendre des décisions plus rassurantes.

En perspectives du modèle AISSA, il serait intéressant d'explorer les différentes hypothèses liées aux hétérogénéités horizontale (entre les trois parties de la zone) et verticale (la possibilité de présence de plusieurs faciès sur le même endroit). En parallèle, le modèle AISSA peut être aussi utilisé comme support de débat entre les différents acteurs par l'approche de la modélisation d'accompagnement : entre chercheurs, techniciens du terrain, décideurs et oasisien. En matière de recherche, cela permettra à ces acteurs de contribuer à la construction du modèle et faciliter le débat par un outil qui est en adéquation avec leur compréhension du système étudié. L'approche de modélisation d'accompagnement permettra aussi la participation des différents acteurs dans le processus de prise de décision.

Bibliographie :

Articles scientifiques :

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 (1): 11-9.

Amichi, H., S. Bouarfa, M. Kuper : 2015 : Arrangements informels et types d'agriculture sur les terres publiques en Algérie : quels arbitrages ? Revue Tiers Monde 221 (1):47-67.

Araral E, 2009 : What Explains Collective Action in the Commons? Theory and Evidence from the Philippines. World Development 37 (3): 687-97. doi: 10.1016/j.worlddev.2008.08.002.

Aubriot O, Prabhakar IP, 2011 : Water institutions and the "Revival" of tanks in South India: What is at stake Locally? Water Alternatives 4 (3): 325-43.

Baggio JA, Barnett AJ, Perez-Ibara I, Brady U, Ratajczyk E, Rollins N, Rubiños C, Shin HC, Yu DJ, Aggarwal R, Anderies JM, Janssen MA, 2016 : Explaining success and failure in the commons: The configural nature of Ostrom's institutional design principles. International Journal of the Commons 10 (2): 417-39. doi: 10.18352/ijc.634.

Balland D, 1992 : Les eaux cachées : études géographiques sur les galeries drainantes souterraines, In Balland D, ed, eds, vol. 19. Paris: Publications du Département de Géographie de l'Université de Paris-Sorbonne.

Barreteau O, Le Page C, 2011 : Using Social Simulation to Explore the Dynamics at Stake in Participatory Research. Journal of Artificial Societies and Social Simulation 14 (04) doi: 10.18564/jasss.1837.

Bayazid Y, 2016 : The daudkandi model of community floodplain aquaculture in Bangladesh: A case for Ostrom's design principles. International Journal of the Commons 10 (2): 854-77. doi: 10.18352/ijc.511.

Bedrani S, 1987 : Algérie : une nouvelle politique envers la paysannerie? Revue des mondes musulmans et de la Méditerranée: 55-66.

Bekkari L, Yépez del Castillo I, 2011 : L'appropriation du modèle d'association d'usagers de l'eau par une communauté villageoise du Moyen Atlas au Maroc. Cah Agric 20: 73-7. doi: 10.1684/agr.2011.0474

Bellal SA, Hadeid M, Ghodbani T, Dari O, 2016 : Accès à l'eau souterraine et transformations de l'espace oasien : le cas d'Adrar (Sahara du Sud-ouest algérien). Cahiers de géographie du Québec 60 (169): 29-56.

Benali A, Aubriot O, Mathieu P, 2001 : Dynamiques institutionnelles et conflit autour des droits d'eau dans un système d'irrigation traditionnel au Maroc. Revue Tiers Monde: 353-74.

Bendjelid A, 2011 : Ouled Saïd, palmeraie du Gourara : développement local et reproduction d'une société traditionnelle. Insaniyat 2011 (51-52): 43-64. doi: 10.4000/insaniyat.12554.

Bendjelid A, Dari O, Hadeid M, Bellal SA, Gacem F, Belmahi MN, Hani S, 1999 : Mutations sociales et adaptation d'une paysannerie ksourienne du Touat : Ouled Hadj Mamoun (wilaya d'Adrar, Algérie). Insaniyat / 52-39 :(7) 1999 إنسانيات. doi: 10.4000/insaniyat.12147.

Bensidoun S, 1970 : Les modes d'aménagement des terroirs et le dynamisme de la civilisation de l'oasis. Annales de Géographie: 67-77.

Bessaoud O, 2016a : Les réformes agraires postcoloniales au Maghreb : un processus inachevé. Revue d'histoire moderne et contemporaine 63-4/4 bis (4): 115-37. doi: 10.3917/rhmc.634.0115.

Bisson J, 1983 : De la mobilité des terroirs à la stabilisation de l'espace utile : l'exemple du Gourara (Sahara algérien). In. Annuaire de l'Afrique du Nord 1983 : Etats, territoires et terroirs au Maghreb. Paris (France): CNRS, p. 389-99.

Bisson J, 1990 : Permanence d'une paysannerie au Sahara algérien : l'exemple des confins du Grand Erg Occidental. In: Dollé V, Toutain G, eds. Les systèmes agricoles oasiens: Montpellier : CIHEAM, p. 289-98.

Bousquet F, Denis G, 1999 : Comparaison de deux approches de modélisation des dynamiques spatiales par simulation multi-agents : les approches "spatiale" et "acteurs"

European Journal of Geography [En ligne], Systèmes, Modélisation, Géostatistiques. Cybergeo.

Bousquet F, Le Page C, 2004 : Multi-agent simulations and ecosystem management : A review. *Ecological Modelling* 176: 313-32. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2004.01.011.

Bousquet F, Cambier C, Mullon C, Morand P, Quensière J, Pavé A, 1993 : Simulating the interaction between a society and a renewable resource. *Journal of Biological Systems* 1 (2): 199-214.

Brun M, Calvary R, 2016 : En Arabie Saoudite, une révolution de palais synonyme de remise en cause du modèle agricole ? *Confluences Méditerranée* 98 (3): 189-200. doi: 10.3917/come.098.0189.

Capot-Rey R, 1962 : Irrigation et structure agraire à Tamentit. *Bulletin de l'Association de géographes français*: 223-33.

Cheylan JP, 1990 : Les oasis sahariennes à foggara: mutations sociales sous fortes contraintes écologiques. *Mappemonde*.

Côte M, 2002 : Des oasis aux zones de mise en valeur : l'étonnant renouveau de l'agriculture saharienne. *Méditerranée* 99 (3): 5-14.

Cox M, Arnold G, Tomás SV, 2010 : A review of design principles for community-based natural resource management. *Ecology and Society* 15 (4).

Crawford SES, Ostrom E, 1995 : A Grammar of Institutions. *American Political Science Review* 89 (3): 582-600. doi: Doi: 10.2307/2082975.

Dubost D, 1986 : Nouvelles perspectives agricoles du Sahara algérien. *Revue de l'Occident musulman et de la Méditerranée*: 339-56.

Dubost D, 1989 : L'oasis : mythe agricole et réalités sociales. *Les Cahiers de la Recherche Développement* (22): 28-43.

Dubost D, 1991 : Le blé du Sahara peut-il contribuer à l'auto-suffisance de l'Algérie ? *Bulletin de l'Association de géographes français*: 311-20.

Dubost D, Moguedet G, 1998 : Un patrimoine menacé : les foggaras du Touat. *Sécheresse* 9 (2): 117-22.

El Faiz M, Ruf T. 2010 : An Introduction to the Khetara in Morocco: Two Contrasting Cases. In: Schneier-Madanes G, Courel M-F, ed. *Water and Sustainability in Arid Regions: Bridging the Gap Between Physical and Social Sciences*. Dordrecht: Springer (Netherlands), pp. 151–163.

Gauthier DV, 1980 : L'État et la révolution agraire en Algérie. *Revue française de science politique*: 112-39.

Ghodbani T, Dari O, Bellal S-A, Hadeid M, 2017 : Entre perte de savoirs locaux et changement social : les défis et les enjeux de la réhabilitation des foggaras dans le Touat, Sahara algérien. *Autrepart* 81 (1): 91-114. doi: 10.3917/autr.081.0091.

Ghorbani A, Bots P, Dignum V, Dijkema G, 2013. MAIA: a Framework for Developing Agent-Based Social Simulations. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 16 (2): 9. doi: 10.18564/jasss.2166.

Ghorbani A, Dijkema GPJ, Bots P, Alderwereld H, Dignum V, 2014 : Model-driven agent-based simulation: Procedural semantics of a MAIA model. *Simulation Modelling Practice and Theory* 49: 27-40. doi: <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2014.07.009>.

Goes BJM, Parajuli UN, Haq M, Wardlaw RB, 2017 : Karez (qanat) irrigation in the Helmand River Basin, Afghanistan: a vanishing indigenous legacy. *Hydrogeology Journal* 25 (2): 269-86. doi: 10.1007/s10040-016-1490-z.

Gonçalvès J, Petersen J, Deschamps P, Hamelin B, Baba-Sy O, 2013 : Quantifying the modern recharge of the “fossil” Sahara aquifers. *Geophysical Research Letters* 40 (11): 2673-8. doi: 10.1002/grl.50478.

Grandguillaume G, 1973 : Régime économique et structure du pouvoir : le système des foggara du Touat. *Revue de l'Occident musulman et de la Méditerranée*: 437-57.

Guillermou Y, 1993 : Survie et ordre social au Sahara: les oasis du Touat-Gourara-Tidikelt en Algérie. *Cahiers des sciences humaines* 29 (1): 121-38.

Hadeid M, Bellal SA, Ghodbani T, Dari O, 2018 : L'agriculture au Sahara du sud-ouest algérien : entre développement agricole moderne et permanences de l'agriculture oasienne traditionnelle. *Cah. Agric.* 27 (1): 15005.

Hamamouche MF, Kuper M, Amichi H, Lejars C, Ghodbani T, 2018 : New reading of Saharan agricultural transformation: Continuities of ancient oases and their extensions (Algeria). *World Development* 107: 210-23. doi: 10.1016/j.worlddev.2018.02.026.

Hardin G, 1968 : The tragedy of the commons. *Science* 162 (3859): 1243-8.

Heggoy AACFpdA, 1970 : Colonial Origins of the Algerian-Moroccan Border Conflict of October 1963. *African Studies Review* 13 (1): 17-22. doi: 10.2307/523680.

Janty G, 2013 : Capacité d'adaptation des pratiques traditionnelles de gestion et de partage de l'eau dans l'oasis de Figuig (Maroc). *Autrepart* 65 (2): 129-50. doi: 10.3917/autr.065.0129.

Khandouch MA, 2000 : L'eau, facteur limitant de l'espace oasien. Le cas des oasis de Skoura et Amkchoud au sud du Maroc. *Bulletin de l'Association de géographes français*: 52-60.

Kouzmine Y, Fontaine J, Yousfi B-E, Otmane T, 2009 : Étapes de la structuration d'un désert : l'espace saharien algérien entre convoitises économiques, projets politiques et aménagement du territoire. *Annales de Géographie* 670 (6): 659-85. doi: 10.3917/ag.670.0659.

Méric É, 1965 : Le conflit algéro-marocain. *Revue française de science politique*: 743-52.

Lightfoot DR. 1996 : Moroccan khattara: Traditional irrigation and progressive desiccation. *Geoforum* 27(2): 261–273. DOI:10.1016/ 0016-7185(96)00008-5.

Lightfoot DR. 1996b : Syrian qanat Romani: History, ecology, abandonment. *Journal of Arid Environments* 33 (3):321-336.

Machum S, 2005 : The Persistence of Family Farming in the Wake of Agribusiness: A New Brunswick, Canada Case Study. *Journal of Comparative Family Studies* 36 (3): 377-90.

Macpherson GL, Johnson WC, Liu H, 2017 : Viability of karezes (ancient water supply systems in Afghanistan) in a changing world. *Applied Water Science* 7 (4): 1689-710. doi: 10.1007/s13201-015-0336-5.

Manzo G, 2014 : Potentialités et limites de la simulation multi-agents : une introduction. *Revue française de sociologie* 55 (4): 653-88. doi: 10.3917/rfs.554.0653.

Marouf N, 2017 : Droits d'eau, hiérarchies en mouvement au Touat et Gourara : Radioscopie d'une société hydraulique. In. *Propriété et société en Algérie contemporaine. Quelles approches ?* Aix-en-Provence: IREMAM.

Moosa E, 1999 : Languages of change in Islamic law: redefining death in modernity. *Islamic Studies* 38 (3): 305-41.

Mostafaeipour A. 2010 : Historical background, productivity and technical issues of Qanats. *Water History* 2(1): 61–80. DOI: 10.1007/s12685-010-0018-z.

Naouri M, Hartani T, Kuper M, 2015 : Mobilités des jeunes ruraux pour intégrer les nouvelles agricultures sahariennes (Biskra, Algérie). *Cah. Agric.* 24 (6): 379-86.

Olivier B, others, 2003: Our Companion Modelling Approach. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 6 (1).

Ostrom E, 1993a : Design Principles in Long-Enduring Irrigation Institutions. *Water Resources Research* 29 (7): 1907-12. doi: Doi 10.1029/92wr02991.

Ostrom E, 1993b : Managing Irrigation - Analyzing and Improving the Performance of Bureaucracies - Uphoff,N, Romamurthy,P, Steiner,R. *Development and Change* 24 (2): 379-80.

Ostrom E, 2000 : Reformulating the Commons. *Swiss Political Science Review* 6 (1): 29-52. doi: 10.1002/j.1662-6370.2000.tb00285.x.

Otmane T, Kouzmine Y, 2013 : The agricultural development in the Algerian Sahara: Myths, outcomes and impacts in the Touat-Gourara- Tidikelt area. *CyberGeo* 2013 doi: 10.4000/cybergeogeo.25732.

Otmane T, Bendjelid A, 2018 : Les petites exploitations agricoles familiales dans les oasis occidentales du Sahara algérien : état et devenir 10.4000/emam.1488 *Les Cahiers d'EMAM*, vol. 30 | 2018.

Ould Rebai A, Hartani T, Chabaca MN, 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 (3): 35005.

Papy L, 1959 : Le déclin des foggaras au Sahara, d'après des travaux récents. Cahiers d'outre-mer 48: 401–6.

Petersen JO, 2014 : Traçage isotopique (^{36}Cl , ^4He , ^{234}U) et modélisation hydrogéologique du Système Aquifère du Sahara Septentrional, Université d'Aix Marseille.

Ponce VM, Shetty AV, Ercan S, 2001 : A convergent explicit groundwater model, vol. 2018, Webpublished paper.

Ravazzani G, Rametta D, Mancini M, 2011 : Macroscopic cellular automata for groundwater modelling: A first approach. Environmental Modelling & Software 26 (5): 634-43. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2010.11.011>.

Remini B, 2016 : The role of the gallery in the functioning of the foggara. Journal of Water and Land Development 29: 49. doi: 10.1515/jwld-2016-0011.

Remini B, Achour B, 2013 : The qanat of the Greatest Western Erg. Journal - American Water Works Association 105 (5): 104-7. doi: 10.5942/jawwa.2013.105.0074.

Remini B, Achour B, Kechad R, 2014 : The sharing of water in the oases of Timimoun, heritage cultural declining. larhyss journal 11 (2): 7-17.

Remini B, Achour B, Albergel J, 2015a : The qanat of Algerian Sahara: an evolutionary hydraulic system. Applied Water Science 5 (4): 359-66. doi: 10.1007/s13201-014-0195-5.

Remini B, Albergel J, Bachir A, 2015b : The Garden Foggara of Timimoun (Algeria): The Decline of Hydraulic Heritage. Asian Journal of Water Environment and Pollution 12 (3): 51-7. doi: 10.3233/Ajw-150006.

Remini B, Achour B, 2016 : The water supply of oasis by albian foggara: an irrigation system in degradation. larhyss journal 26: 167-82.

Roache P, 1972 : Computational Fluid Dynamics : Hermosa Publishers, Albuquerque, NM.

Sabatier J L, Ruf T, 1995 : La gestion sociale de l'eau. Infores'eau 6 : 9-11.

Sahli Z, 1997 : Deux tentatives controversées de modernisation de l'agriculture en zone aride : l'opération 'tomate d'Adrar' et la mise en valeur hydro-agricole du Touat Gourara (Wilaya d'Adrar - Algérie). In. La modernisation des agricultures méditerranéennes (à la mémoire de Pierre Coulomb): Montpellier : CIHEAM, p. 283-95.

Scheele J, 2010 : Traders, saints, and irrigation: reflection on Saharan connectivity. The Journal of African History 51 (3): 281-300.

Scheele J, 201 : L'énigme de la faggāra : commerce, crédit et agriculture dans le Touat algérien. Annales. Histoire, Sciences Sociales 67e année (2): 471-93.

Schneider S, Niederle PA, 2010 : Resistance strategies and diversification of rural livelihoods: the construction of autonomy among Brazilian family farmers. The Journal of Peasant Studies 37 (2): 379-405. doi: 10.1080/03066151003595168

WenJun HU JZ, YongQiang LIU, 2012 : The qanats of Xinjiang: historical development, characteristics and modern implications for environmental protection. Journal of Arid Land 4 (2): 211-20. doi: 10.3724/sp.j.1227.2012.00211

Wessels J, 2012 : Qanat rehabilitation as a viable tool for collective action for social development and conflict resolution in rural communities in arid areas. In. The International Conference on Traditional Knowledge for Water Resources Management, Yazd, Iran,.

Yousfi, B. 2011 : La ville d'Adrar dans un nouveau contexte urbain : vers une nouvelle réorganisation de l'espace régional des territoires sahariens du sud-ouest de l'Algérie. Insaniyat 2011 (51-52):27-50, (en langue arabe).

Thèses et mémoires :

Baba M, 2000 : Ressources et exploitation des eaux souterraines dans la région d'Adrar. Impact sur les foggaras (sud-ouest algérien). Mémoire d'Ingénieur, Université d'Oran, Oran.

Belbali A, 2014 : Exploitation et gestion des eaux souterraines dans la région de Touat (Wilaya d'Adrar). Mémoire d'Ingénieur, Université d'Oran, Oran.

Belbali T, Kaim A, 2002 : Ressources en eau souterraines : mobilisation, utilisation et gestion -Le cas de la région de Gourara- Mémoire d'Ingénieur, Université d'Oran, Oran.

Bisson J, 1957 : Le Gourara, étude de géographie humaine. Mémoire n°3, Alger.

Ghorbani A, 2013 : Structuring Socio-technical Complexity: Modelling Agent Systems using Institutional Analysis. Phd, TU Delft.

Hamamouche MF, 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. Etudes de l'environnement. Doctorat, AgroParisTech; Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, France.

Idda, S. 2011 : La mutation de l'écosystème oasien au Gourara. Causes et implications environnementales. Mémoire de Magister, Université d'Oran, 135 pages.

Kouzmine Y, 2007 : Dynamiques et mutations territorielles du Sahara algérien, vers de nouvelles approches fondées sur l'observations, Franche-Comté, Besancon - France.

Mansour H, 2007 : Hydrogéologie du Continental intercalaire et du Complexe terminal en domaine aride. Exemple des monts des Ksour (Atlas saharien occidental). thèse de Doctorat, Université d'Oran.

Otmane T, 2010 : Mise en valeur agricole et dynamiques rurales dans le Touat, le Gourara et le Tidikelt (Sahara algérien). Doctorat, Université d'Oran, Algérie.

Ould Baba Sy M, 2005 : Recharge et paléorecharge du système aquifère du Sahara septentrional, Université de Tunis El Manar.

Ouvrages, chapitres d'Ouvrages et rapports :

ANRH, 2016 : Inventaire des foggaras de la wilaya d'Adrar, In Agence nationale des ressources hydrauliques. Agence régionale sud-ouest Adrar A, ed, eds. Adrar. Algérie.

Banos A, Sanders L, 2013 : Modéliser et simuler les systèmes spatiaux en géographie. In: Franck V, amp, Marc S, eds. Modéliser et simuler: épistémologies et pratiques de la modélisation et de la simulation. (Tome 1, volume 2). Paris, Franc: Editions Matériologiques, p. 833 - 64.

Battesti V, 2005 : Jardins au désert. Évolution des pratiques et savoirs oasiens. Jérid tunisien À travers champs. Paris.

Bendjelid A, Brûlé J-C, Fontaine J, 2004 : Aménageurs et aménagés en Algérie. Héritages des années Boumediene et Chadli. Paris, France.: L'Harmattan.

Bensaâd A, (2011). L'eau et ses enjeux au Sahara. Paris , France: Karthala.

Bessaoud O, 2016b : La sécurité alimentaire en Algérie. Alger (Algérie): Étude réalisée pour le Forum des Chefs d'Entreprise (FCE).

Bisson J, 1992 : Les foggaras du Sahara algérien : déclin ou renouveau. In: Balland D, ed. eds. Les eaux cachées. Études géographiques sur les galeries drainantes souterraines p. 7–26.

Bisson J, 2003 : Mythes et réalités d'un désert convoité : Le Sahara. Paris: L'Harmattan.

Bisson J, 2004 : Le dilemme agricole saharien, aménagement moderne et milieu oasien, le cas de la Saoura, du Souf et du Touat. In: Abed B, Jean-Claude B, Jacques F, eds. Aménageurs et aménagés en Algérie. Paris: L'Harmattan, p. 91-103.

Bommel P, Becu N, Le Page C, Bousquet F, 2015 : Cormas, an Agent-Based simulation platform for coupling human decisions with computerized dynamics ISAGA/JASAG 2015 Conference. Kyoto, Japon: International Simulation and Gaming Association, 1-25.

Bommel P, Bonté B, Bonnet M-P, Leclerc G, 2018 : Replication of MACCA-GW: the ground water diffusion in an aquifer, vol. 2018. France.

Daoudi A, Colin J-P, Derderi A, Ouendeno ML, 2015. Mise en valeur agricole et accès à la propriété foncière en steppe et au Sahara (Algérie). MONTPELLIER.

Duboz R, Müller JP, 2013 : Modélisation des socio-écosystèmes. Instrumenter le dialogue multidisciplinaire. In: Eds. Franck V, amp, Marc S, eds. Modéliser & simuler : épistémologies et pratiques de la modélisation et de la simulation. (Tome 1, volume 2). Paris, France: Editions Matériologiques, p. 865-96.

El-hadj H, Ahmed, 1982 : Quelques observations sur le système d'irrigation et la répartition des eaux des foggaras à Aoulef, Case studies of foggara oases in the algerian Sahara and Syria II. Tokyo: The Tokyo University Scientific Mission.

Ehlers E, Saidi A, 1989 : Qanats and pumped wells: the case of Assad'Abad, Hamadan. In: Beaumont P, K B, K M, eds. Qanat, Kariz and Khattara. London: School of Oriental and African Studies, p. 89-122.

Ferber J, 1995 : Les Systèmes multi-agents. Vers une intelligence collective. Paris: InterÉditions.

Garrido S, 2016 : Demythologizing and de-idealizing the commons. Ostrom's eight design principles and the irrigation institutions in eastern Spain. In: Congost R, Jorge. G, Rui S, eds. Property Rights in Land. Issues in Social, economic and global history. London and New York: Routledge Taylor and Francis Group, p. 111 - 31.

Kobori I, 2008 : Fifty Years of Personal Experience in Arid Land Studies. Dordrecht: Springer Netherlands, 77-87.

Le Page C, Bommel P, 2005 : A methodology for building agent-base simulations of common-pool resources management : from a conceptual model designed with UML to its implementation in CORMAS. In: Bousquet François TGHB, ed. eds. Companion modeling and multi-agent systems for integrated natural resource management in Asia. Metro Manila, Philippines: IRRI, p. 327-49.

Lightfoot DR, 2009 : Survey of Infiltration Karez in Northern Iraq: History and Current Status of Underground Aqueducts. report prepared for UNESCO: UNESCO. <http://unesdoc.unesco.org/images/0018/001850/185057E.pdf>

Martin AGP, 1908 : Les oasis sahariennes (Gourara-Touat-Tidikelt). Alger: Edition de l'imprimerie algérienne.

Minsky ML, 1968 : Matter, minds, models. In: Minsky ML, ed. eds. Semantic Information Processing: MIT Press.

Molle F, Shah T, Barker R, 2003 : The groundswell of pumps: Multilevel impacts of a silent revolution. In. ICID-Asia Meeting, Taiwan, p. 18.

Molle F, Mamanpoush A, Miranzadeh M, 2004 : Robbing Yadullah's water to irrigate Saeid's garden: Hydrology and water rights in a village of central Iran. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute.

OSS., 2003a : Système aquifère du Sahara septentrional. Une conscience de bassin. Hydrogéologie http://www.oss-online.org/sites/default/files/fichier/ii_hydrogeologie.pdf.

OSS., 2003b : Système aquifère du Sahara septentrional. Une conscience de bassin. Modèle mathématique http://www.oss-online.org/sites/default/files/fichier/iv_modele_mathem.pdf.

OSS., 2003c : Système aquifère du Sahara septentrional. Une conscience de bassin. Base de données et SIG http://www.oss-online.org/sites/default/files/fichier/iii_3bd_sig.pdf.

Ostrom E, 1990 : Governing the commons : the evolution of institutions for collective action. Political economy of institutions and decisions. Cambridge: Cambridge University Press.

Ostrom E, 2005 : Understanding institutional diversity: Princeton University Press.

Peschard I, 2013 : Les simulations sont-elles de réels substituts de l'expérience ? In: Eds. Franck V, amp, Marc S, eds. Modéliser et simuler: épistémologies et pratiques de la modélisation et de la simulation. (Tome 1, volume 2). Paris, France: Editions Matériologiques, p. 145 - 70.

Treuil J-P, Drogoul A, Zucker J-D, 2008 : Modélisation et simulation à base d'agents: exemples commentés, outils informatiques et questions théoriques. Paris: Dunod.

UNESCO, 1972 : La Nappe du Continental Intercalaire - Modèle mathématique, Etude des Ressources en Eau du Sahara Sptentrional Proj. ERESS.

Wessels J, Hoogeveen.R.J.A., 2002 : Renovation of Qanats in Syria, In (ed.) ZA, ed, eds Sustainable Management of Marginal Drylands, Application of indigenous knowledge for coastal drylands. Alexandria, Egypt.

Liste des tableaux :

Tableau 1: Superficies irriguées dans les périmètres de mise en valeur à Adrar.....	94
Tableau 2: caractéristique de l'échantillon des familles enquêtées	118
Tableau 3: Caractéristiques des puits et des parcelles des familles enquêtées.....	119
Tableau 4 : exemple des institutions selon la syntaxe ADICO	146
Tableau 5 : Variables et caractéristiques des entités "Cellule"	151
Tableau 6 : attributs et caractéristiques de la classe "secteur" du modèle.....	153
Tableau 7 : attributs et caractéristiques de la classe "parcelle" du modèle	154
Tableau 8 : attributs et caractéristiques de la classe "foggara" du modèle.....	156
Tableau 9 : attributs et caractéristiques de la classe "forage" du modèle.....	157
Tableau 10 : attributs et caractéristiques de l'entité "Hydro-cellule" du modèle AISSA.....	158
Tableau 11 : attributs et caractéristiques de la classe "propriétaire " du modèle AISSA	159
Tableau 12 : attributs et caractéristiques de la classe "Grande Famille " du modèle AISSA.	160
Tableau 13 : attributs et caractéristiques de la classe AISSA.....	170
Tableau 14 : caractéristiques du groupe des oasiens auquel a été présenté le modèle	186
Tableau 15 : Valeurs des paramètres dans les scénarios de la simulation	189

Liste des figures :

Figure 1 : cadres géographique et physique du Touat, Gourara et Tidikelt (Kouzmine, 2007)	20
Figure 2 : les nappes du Continental Intercalaire (CI) et du Complexe Terminal (CT) dans le Sahara algérien (Kouzmine, 2007).....	20
Figure 3 : articulation des aspects matériels et immatériels dans le système oasien à foggara	21
Figure 4 : Situation des oasis de l'enquête du terrain.	24
Figure 5 : échelles d'analyse et les principaux aspects étudiés.....	28
Figure 6 : Méthodologie de recherche.....	29
Figure 7 : Organisation du manuscrit.	31
Figure 8 : schéma des composantes d'une foggara et son principe de fonctionnement (Remini & Achour, 2016).....	41
Figure 9 : Situation et organisation spatiale de l'oasis de Lahmeur (source : google-earth et enquête de terrain 2017).....	73
Figure 10 : Processus d'hybridation des foggaras de l'oasis de Lahmeur	79
Figure 11 : Schéma synoptique des foggaras hybrides : organisation, institutions et gestion .	80
Figure 12 : Organisation spatiale de l'oasis d'Ouled Aissa (Idda, 2011).....	115
Figure 13 : Les grandes transformations dans l'oasis d'Ouled Aissa, les dynamiques entre l'ancienne oasis et le nouveau périmètre de mise en valeur et le retour vers les parcelles traditionnelles.....	116
Figure 14 : Morcellement d'une parcelle traditionnelle, évolution généalogique et intégration de l'irrigation par puits dans l'oasis d'Ouled Aissa	124
Figure 15 : Représentation imagée d'un agent en interaction avec son environnement et les autres agents (Ferber, 1995).....	136
Figure 16 : calcul du flux d'eau de la cellule centrale par rapport aux quatre cellules adjacente.....	142
Figure 17 : espace de test de stabilité et de convergence du modèle réalisé par Ravazzani et al. (2011)	144
Figure 18 : espace de test de stabilité convergence réalisé par (Bommel Pierre. et al., 2018) sur CORMAS.....	144
Figure 19 : diagramme de classe du méta-modèle MAIA	147
Figure 20 : Diagramme de classe du modèle AISSA	151

Figure 21 : la grille spatiale, les secteurs et les foggaras dans le modèle AISSA	152
Figure 22 : diagramme de séquence au pas de temps hydrologique du modèle AISSA	162
Figure 23 : diagramme de l'activité "prélever" de la classe "foggara"	162
Figure 24 : Principe de calcul de l'épaisseur de la lame d'eau dans le forage	163
Figure 25 : diagramme de l'activité "créer forage" par le propriétaire	165
Figure 26 : diagramme de séquence annuel du modèle AISSA	166
Figure 27 : diagramme de l'activité "participer" de la classe "propriétaire"	166
Figure 28 : diagramme de l'état-transition de la foggara.....	167
Figure 29 : diagramme de l'activité "diviser" de la grande famille	169
Figure 30 : vue spatialisée de l'état initiale du modèle, état de surface, la nappe souterraine et une coupe hydrogéologique	177
Figure 31 : situation après 300 pas du temps mensuel (25 ans).....	179
Figure 32 : état du modèle à la fin de la simulation (pas du temps 600 = 50 ans).....	181
Figure 33 : enregistrement des débits et l'état des foggaras au cours d'une simulation de 50 années	182
Figure 34 : évolution des volumes d'eau exploitée par les foggaras et les forages selon la taille et la date de la mise en place du périmètre de mise en valeur.....	191
Figure 35 : évolution des volumes d'eau exploitée par les foggaras et les forages selon le taux d'accès au travail.....	192
Figure 36 : évolution des volumes d'eau exploitée par les foggaras et les forages selon l'état de la nappe aquifère	193
Figure 37 : la consommation moyenne en eau et la superficie moyenne dégradée à la fin des simulations selon les 15 scénarios testés.....	194
Figure 38 : le nombre moyen de forages et la superficie moyenne non satisfaite la fin des simulations selon les 15 scénarios testés.....	195
Figure 39 : la superficie moyenne irriguée par forage et la superficie moyenne non satisfaite à la fin des simulations selon les 15 scénarios testés	196
Figure 40 : la surface moyenne dégradée à la fin des simulations dans les deux secteurs et selon le taux d'accès au travail.....	197
Figure 41 : la consommation moyenne en eau et la superficie moyenne dégradée à la fin des simulations selon les 15 scénarios testés.....	198

Liste des photos :

Photo 1 : Maître de l'eau avec sa plaque en cuivre à l'oasis de Tittaf (S.Idda, avril 2017)	42
Photo 2 : Deux jeunes (le deuxième en profondeur) accompagnés par un ancien sur un puits d'entretien (S.Idda, août 2016).....	45
Photo 3 : Un puits doté d'un panneau solaire et d'une éolienne à Fenoughil (S.Idda, février 2018).....	47
Photo 4 : Kasria ou peigne de distribution de l'eau de la foggara dans l'oasis d'Ouled Brahim (S. Idda, juin 2016).....	55
Photo 5 : Répartition de l'eau par kasria (peigne) à ciel ouvert, pour garder le partage visible malgré le remplacement des seguias par des canalisations en béton et en plastique (S.Idda, avril 2017)	62
Photo 6 : Célébration du retour de l'eau de la foggara de Tourfine après 9 ans d'absence dans l'oasis d'Aoulef (N. Tbeg, mars 2018).....	64
Photo 7 : Irrigation de 30 ha de blé par pivot (S.Idda, février 2018).	101
Photo 8 : Forage d'irrigation et transformateur électrique (S.Idda, février 2018).	101
Photo 9 : Culture sous pivot artisanal fabriqué localement dont la conception vient de la zone de Souf (S.Idda, février 2018).	104
Photo 10 : Cultures associés, irrigation goutte à goutte et salinité du sol dans l'exploitation d'Ahmed, périmètre de Baameur (S.Idda, février 2018).....	104
Photo 11 : Exploitation d'une parcelle par le propriétaire après le déplacement des serres du locataire et diversification de cultures (laitue, carottes, pomme de terre, ail, et maïs). Irrigation par goutte à goutte (S.Idda, février 2018).....	107
Photo 12 : Culture de pastèque dans des petites serres tunnel, blé en arrière-plan et palmier dattier sur l'ensemble de la parcelle (S.Idda, février 2018).	108
Photo 13 : Concombre touché par une maladie dans le périmètre de Bouguemma (S.Idda, février 2018).....	109
Photo 14 : Culture de melon à destination du marché, irrigué par goutte à goutte avec des palmiers espacés (S.Idda, avril 2017).....	112
Photo 15 : Avancement de dunes après le tarissement de la foggara et l'abandon des parcelles (S.Idda, juin 2016).....	117
Photo 16 : Association de cultures irriguées par goutte à goutte et submersion. En arrière-plan apports d'argile pour amélioration du sol (S.Idda, février 2018).....	120

ANNEXES :

Annexe 1 : Liste exhaustive des tableaux élaborés à la base du méta-modèle MAIA**1-1 Les agents :**

Agent	Properties	Personal values	Information	Physical components	Possible roles	Intrinsic capabilities	Deision Making criteria
Propriétaire	-Âge -Fonction (oui/non) -Type famille (n/e) -Parcelle (collection) -	- Parcelle travaillé -Economie de la famille -Economie personnel	-Etat des parcelles -Situation des foggaras -Situation des institutions -Economie familiale -économie personnelle	-Forage	-Membre de famille -Responsable de foggara - Fonctionnaire -responsable chez l'Etat	-Niveau de richesse change en fonction des revenus -Vieillessement au fil du temps -Il peut avoir un poste de responsabilité chez l'Etat	- Je peux participer à l'entretien ou pas. - Je continue dans la grande famille ou pas. -Je continue dans la parcelle ou pas.
Famille	-Type -Parcelle (collection) – Richesse -Nb sous-familles -Nb Fonctionnaires -engagement entretien (oui/non)	- Parcelle travaillé -Economie de la famille -Respect de la société	Etat des parcelles -Situation des foggaras -Situation des institutions -Economie familiale	-Forage	-Membre de groupes de foggaras	-Niveau de richesse -Avoir un nouveau statut issu des fonctions des membres et de la richesse	-Participer à l'entretien ou pas -Continuer sur la parcelle ou pas -

1-2 L'environnement physique :

Physical components	Properties	Type	Behaviour
Parcelle	-Superficie -Secteur -Etat (exploité, abandonnée, intermédiaire) -Ressource en eau (forage, foggara, les deux) -Nb de propriétaires -Statut juridique (melk, habous) -niveau de satisfaction	-Privé	-Production -Vieillessement -Changement de l'état (abandon ou pas) -Morcellement -Déclaration des besoins en eau
Foggara	-Débit (l/s) -Etat (tarie, pérenne, en dégradation) -Entretien (oui, non, rare) -Nappe (favorable ou pas)	-Privé	-Changement de débit -Changement de l'état
Forage	-Profondeur -Débit -état de nappe (favorable ou pas)	-Privé	-Changement de débit -Changement de profondeur -Changement d'état
Secteur	-NB de parcelles -Type (Traditionnel, Modern) -nombre de parcelles exploitées -surface exploitée	-Collectif	-Changement de surface exploitée e de nombre de parcelles -Création -Abandon
Nappe	-Surface piézométrique -dynamique.	-Collectif	-Changement de surface piézométrique

1-3 Les rôles :

Role	Objective	Institutions	Entry condition	Institutional capabilities
Propriétaire	-Préserver la parcelle	-Entretien de foggara - Division de famille -Evaluation de richesse -Abandon de parcelle -Création puits -Morceler	-Famille membre dans le groupe de foggara -Avoir le temps	-Entretien de la foggara -Vendre sa part d'eau -Participer aux décisions -Contrôler la foggara -Participer à l'exécution des institutions -Se transformer en petites familles -Prendre le rôle de leader -Apprendre à partir des expériences dans l'autre secteur et avec le changement dans les institutions et prendre ses décisions sur la foggara et la parcelle -Avoir plus de poids dans l société
Membre de famille	-Assurer des revenus	-Chercher fonction	-Sans fonction	-Responsabilité administrative -devenir fonctionnaire -avoir sa propre famille indépendante
Famille Particulière	-Diminuer les confits	-Résoudre le conflit	-Conflit en cours	-Initiative
Responsable de foggara	-Préserver la foggara (assurer le déroulement des règles)	-Entretien de foggara -Contrôle majeur -Accuser -Résoudre le conflit	-Propriétaire -Respecté -Volontaire - Responsabilité unique	Entretien -Décider des campagnes d'entretien -Contrôler -Juger les membres -Accuser les membres -Perdre son rôle

1-4 Les institutions :

Label	Attribute (role)	Deontic type	Aim	Condition	Or_else
Entretien de foggara	- Propriétaire	-Must	-Participer à l'entretien	-Membre du groupe -Foggara en entretien	-Paye des amendes -Perdre le respect -Pb économiques
Décision sur la foggara	- Propriétaire	- May	-Participer à la décision	- Membre du groupe -Achever ses devoirs -Situation décisionnelle	/
Chercher une fonction	-Oasien	/	-Cherche une fonction	-Sans emploi	/
Contrôle	- Propriétaire	/	Contrôler la foggara	-Membre du groupe	/
Contrôle majeur	-Responsable	-Must	-Contrôler la foggara	-Règles appliquées	-Perdre sa responsabilité
Infrastructure de partage	-Propriétaire	-May not	-Modifier dans l'infrastructure	-Sans accord du groupe	-Payer des amendes -Perdre le respect -Pb économiques
Accusation	-Responsable	-May	-Accuser une famille	-Infraction des règles	-Perdre sa responsabilité -Perdre son respect
Décision familiale	-Famille	/	-Prendre des décisions	-Situation de décision ou de participation	/
Résoudre les conflits	-Famille à statut particulier	/	-Participer à résoudre les conflits	-Conflit	/

1-5 détails des institutions :

Label	Performer	Action body	Decision making	Precondition	Postcondition (do)	Postcondition (not do)
Participation à l'entretien	-Famille	- La famille décide si elle participe à l'entretien ou pas. La décision est en fonction de la situation de ses membres, son économie et la disponibilité d'un travailleur ou pas. La famille ne peut pas payer tjrs des amendes car ses ressources sont limitées. Si elle participe elle est comptée dans le nombre des participants dans la foggara et sur lequel elle déclare sa situation. Le travailleur n'est plus disponible à une autre action dans ce pas du temps. Les futurs comportements des autres membres sont en relation avec la portion des participants dans les entretiens.	-Participer	-Foggara demande l'entretien -Membre du groupe -Pas de forage -travailleur disponible -engagé encore dans les travaux	-Débit update -Respect maintenu	-Débit update -Payer une amende
Division de famille	-Famille	Une grande famille peut décider si elle se transforme en petites familles ou pas. En fonction de l'âge des membres, leur économie, leurs fonctions et leurs préoccupations. Cette décision peut être due à l'hétérogénéité de ses membres (certains fonctionnaires et autres non par exemple	-Diviser	-Fraternité -Non participation à l'entretien -présence de fonctionnaire	-Nouvelles petites familles nucléaires -Division ou abondant de la parcelle selon la surface	-Parcelle dégradée ou morcelé
Evaluation de richesse	-Famille	La famille évalue sa richesse en fonction du nombre des fonctionnaires, de parcelles et de dépenses dans les travaux d'entretien	-Déclarer la richesse	-chaque pas du temps	-Possibilité de créer un forage -Possibilité de changement de décision de participation	
contrôle	-Famille	-Une famille contrôler la foggara de manière volontaire et régulièrement sauf en cas de non disponibilité de l'un de ses membres pour e faire.	-Contrôler	-Etre membre du groupe -Avoir un membre sans fonction -Parcelle Exploitée -Parcelle sans forage	-Institution se renforce -Foggara s'améliore	-Foggara se dégrade -Institution fragile

Responsabilité	-Famille	-devenir responsable du groupe	-Présider le groupe	-Manque de responsable -Avoir respect élevé -Avoir un membre sans fonction	-Famille responsable -Plus de tâches	-Débit diminué -Institution fragile
Décision foggara	-Famille	-Participe à la prise de décision dans le groupe	-Participer à la décision	-Membre du groupe -Situation de décision	-Plus rattaché au groupe -Plus informé sur la situation du groupe	-Moins rattaché au groupe -Respect diminué
Amende	-Famille	-Payer une amande	-Payer	-Membre du groupe -Infraction de règle -Accusation de leader -Amendé	-Institution respectée -Groupe stable -Rattaché au groupe	-Institution fragile -Groupe moins stable -Respect diminué
Abandon de parcelle	-Famille	-Abandonner la parcelle ou pas en fonction de la situation des membres, la superficie de la parcelle, la ressource en eau, la situation économique ...	-Abandonner	-Avoir une parcelle -Parcelle non satisfaite	-Parcelle abandonnée -Pas de participation au groupe	
Création puits	-Famille	-une famille peut créer un puits si l'eau de la foggara n'est pas suffisante, et si elle a une richesse suffisante. Et en fonction du nombre des membres sans fonction et aussi si elle a une parcelle dans le nouveau PMV ou pas	-Créer un puits	-Avoir une parcelle -Avoir des ressources	-puits créé -Pas de participation au groupe -Parcelle satisfaite -Indépendant de la foggara	-Dépendant de la foggara -parcelle dépende de la situation de la foggara
Morceler	-Famille	-Morceler la parcelle en fonction du nombre des parcelles de la famille,	-Diviser en petites parcelles	-Avoir une parcelle -Famille divisée en petites familles -taille de la parcelle assez grande	-Nouvelles petites parcelles -Parcelles peuvent être travaillées	-Même parcelle -parcelle mal ou non travaillé
Recherche de Fonction	-Individu	-Devenir fonctionnaire	-Occuper un poste	-Etre sans fonction -Trouver une fonction	-Devenir fonctionnaire	-Rester sans fonction

				-Avoir l'âge favorable	-Pas de tâche en relation avec la parcelle et la foggara sauf décisions -Améliorer la situation de la famille	-Possibilité de travaux de foggara et de parcelle -Moins de moyens économiques
Contrôle M	Responsable	-Contrôler l'infrastructure de captage et de distribution régulièrement. -contrôler la participation des membres aux entretiens et leur respect de règles.	-Faire une visite de la foggara	-Être membre de groupe -Être responsable -Foggara pérenne -Institutions applicables	-continuité dans la responsabilité -Renforcement de l'application des institutions -Bon fonctionnement du système	-Possibilité de perte de responsabilité - Affaiblissement de l'application des institutions
Accusation	Responsable	-En cas de non respect des institutions, il accuse et déclare les amendes à payer. Cette tâche dépend du niveau de respect des institutions et de leur applicabilité	-Accuser	-Être membre de groupe -Être responsable -Foggara pérenne -Institutions applicables -Non respect des institutions	-continuité dans la responsabilité -Renforcement de l'application des institutions -Bon fonctionnement du système	-Possibilité de perte de responsabilité - Affaiblissement de l'application des institutions
Décision (amende)	Responsable					
Déclaration	Parcelle	-La parcelle en fonction de sa situation, ses besoins en eau et son exploitation déclare sa situation et ses besoins	-Déclarer	-Chaque pas du temps	/	/
Vieillessement	Parcelle					
Division	Parcelle	La parcelle se divise en plusieurs parcelles	-morceler	-famille décide	-nouvelles petites	/

				morcellement	parcelles	
Nappe Update	Nappe	La nappe mis à jour sa situation et la déclare, en fonction de ses dynamiques liées à son exploitation	-update	-chaque pas du temps	/	/
Débit Update	Foggara	La foggara calcule son débit en fonction de la situation de la nappe et les entretiens faits	-update	-chaque pas du temps	/	/
Déclaration	Foggara	-en fonction de son débit, la foggara déclare son état entre bon, en dégradation ou tarie et si c'est à une cause naturelle ou pas	-déclarer	-chaque pas du temps	/	/
Débit Update	Forage	La foggara calcule son débit en fonction de la situation de la nappe et de sa profondeur	-update	-chaque pas du temps	/	/
Déclaration	Forage	-en fonction du débit, le forage déclare s'il est exploitable ou pas	-déclarer	-chaque pas du temps		
Stat update	Secteur	-le secteur calcule le nombre et la surface des parcelles exploitées	-update	-chaque pas du temps	/	/
Résolution de conflit	Famille particulière		-résoudre	-conflit ou foggara déclare tarissement à cause du manque d'entretien	-conflit résolu -entretien continu	-conflit non résolu -moins d'entretien

Annexe 2 : Questionnaire et guides d'enquête :**2-1 Questionnaire général sur les oasis de Touat, Gourara et Tidikelt :****Enquête sur les oasis d'Adrar**

juillet - septembre 2016 - Université d'Oran 2

I Identification de la fiche

1. N°enquête

La réponse est obligatoire.

2. Date

3. Zone

 1. Touat 2. Gourara 3. Tidikelt*La réponse est obligatoire.*

4. Commune

La réponse est obligatoire.

5. Oasis

La réponse est obligatoire.

6. Foggara

*La réponse est obligatoire.***II Identification de(s) propriétaire (s)***on s'intéresse à celui qui s'occupe de la parcelle*

7. Nom

8. Prénom

9. Quel est votre âge ?

10. Quel est votre sexe ?

 1. Masculin 2. Féminin

11. A quelle classe sociale appartenez-vous ?

 1. Chorfa 2. Mrabtine 3. Harratine 4. Autre

12. Etes-vous fonctionnaire ?

 1. Oui 2. Non

13. Si oui, dans quel secteur ?

La question n'est pertinente que si Fonction = {Oui}

14. Citez les autres sources de revenus

15. Quel est le nombre des propriétaires de la parcelle?

16. Possédez-vous d'autres parcelles dans le secteur traditionnel ?

 1. Oui 2. Non

17. Si oui, combien ?

La question n'est pertinente que si Autre parcelles = {Oui}

18. Quel est l'état des autres parcelles ?

La question n'est pertinente que si Autre parcelles = {Oui}

19. Dans quel type de famille vivez-vous ?

 1. Grande 2. Petite**III Identification de la parcelle**

20. Comment avez-vous accédé à la parcelle ?

 1. Héritage 2. Achat 3. Echange 4. Autre

21. Depuis quand ?

22. Quel est son statut juridique ?

 1. Melk 2. Habous 3. Autre

23. Quelle est sa superficie (ha) ?

24. Quel est le nombre de partenaires (propriétaires) dans la parcelle ?

25. La clôture de la parcelle est-elle ?

 1. entretenue 2. partiellement entretenue
 3. non entretenue

26. Quel est l'état de la parcelle ?

 1. exploitée 2. abandonnée 3. palmier seulement
 4. Autre

27. Si elle est exploitée, citez les cultures ?

La question n'est pertinente que si état de la parcelle = {exploitée} ou état de la parcelle = {Autre}

28. Quel est le mode de faire-valoir de la parcelle?

1. direct 2. indirect 3. Autre

29. Si la parcelle n'est pas abandonnée, les produits sont?

1. Auto-consommés 2. Commercialisés 3. Autre

Vous pouvez cocher plusieurs cases.

La question n'est pertinente que si état de la parcelle # {abandonnée}

IV Ressource en eau et irrigation

30. L'irrigation de la parcelle se fait par l'eau de?

1. Foggara 2. Forage 3. puit

Vous pouvez cocher plusieurs cases.

31. Participez(iez)-vous à l'entretien de la foggara?

1. oui 2. non

La question n'est pertinente que si Nature de la ressource = {Foggara}

32. Pourquoi?

La question n'est pertinente que si Nature de la ressource = {Foggara}

33. Si oui, je contribue par?

1. moi-même 2. un hantanie
 3. payer une personne

Vous pouvez cocher plusieurs cases.

La question n'est pertinente que si entretien foggara = {oui}

34. Quel est votre part d'eau de la foggara?

35. La quantité d'eau de la foggara est-elle suffisante?

1. Pas du tout 2. Phytôt non 3. Cela dépend
 4. Phytôt oui 5. Tout à fait

36. Si vous avez un forage ou puit, depuis quand?

La question n'est pertinente que si Nature de la ressource = {Forage} ou Nature de la ressource = {puit}

37. Nombre de propriétaires de forage (puit)?

La question n'est pertinente que si Nature de la ressource = {Forage} ou Nature de la ressource = {puit}

38. Pour quelle raison vous l'avez créé?

La question n'est pertinente que si Nature de la ressource = {Forage} ou Nature de la ressource = {puit}

39. Quelle est la profondeur du forage (puit)?

La question n'est pertinente que si Nature de la ressource = {Forage} ou Nature de la ressource = {puit}

40. Le pompage se fait par?

1. pompe immergée 2. pompe électrique
 3. moto-pompe (gazoil, essence) 4. autre

La question n'est pertinente que si Nature de la ressource = {Forage} ou Nature de la ressource = {puit}

41. Quel est le nombre de parcelles irriguées par le forage (puit)?

La question n'est pertinente que si Nature de la ressource = {Forage} ou Nature de la ressource = {puit}

42. Quelle est la durée moyenne de ompage par jour (h)?

La réponse doit être inférieure à 24.1.

La question n'est pertinente que si Nature de la ressource = {Forage} ou Nature de la ressource = {puit}

43. Que pensez-vous des dépenses d'entretien et d'électricité (gazoil, essence) en comparaison avec la rentabilité de la parcelle?

1. Pas du tout coûteux 2. Phytôt pas coûteux
 3. Phytôt coûteux 4. Tout à fait coûteux

La question n'est pertinente que si Nature de la ressource = {Forage} ou Nature de la ressource = {puit}

44. Si vous ne possédez pas de forage (puit), pensez-vous à le créer?

1. Oui 2. Non

La question n'est pertinente que si Nature de la ressource # {Forage ; puit}

45. Pourquoi?

La question n'est pertinente que si Nature de la ressource # {Forage ; puit}

46. Le stockage se fait dans?

1. bassin en terre 2. bassin en béton
 3. sans stockage

Vous pouvez cocher plusieurs cases (2 au maximum).

47. Si vous avez un bassin en béton, il a été financé par?

1. PNDA 2. moi-même

La question n'est pertinente que si Stockage = {bassin en béton}

48. Quelles techniques d'irrigation utilisez-vous?

1. submerssion 2. goutte à goutte 3. aspersion

Vous pouvez cocher plusieurs cases.

49. Si vous utilisez le goutte à goutte ou l'aspersion, depuis quand?

La question n'est pertinente que si Technique d'irrigation = {goutte à goutte} ou Technique d'irrigation = {aspersion}

50. Pourquoi?

La question n'est pertinente que si Technique d'irrigation = {goutte à goutte} ou Technique d'irrigation = {aspersion}

51. Que pensez vous de l'efficacité de ces nouvelles techniques?

1. Sans efficacité 2. Peu efficace 3. Assez efficace
 4. Très efficace

La question n'est pertinente que si Technique d'irrigation = {goutte à goutte} ou Technique d'irrigation = {aspersion}

V Trajectoire de la parcelle

52. Si la parcelle est exploitée, avez-vous fait l'abandon puis le retour?

1. Oui 2. Non

La question n'est pertinente que si état de la parcelle # {abandonnée}

53. Si oui, Pourquoi?

La question n'est pertinente que si Abandon-retour = {Oui}

54. Date d'abandon?

La question n'est pertinente que si Abandon-retour = {Oui}

55. Date de retour?

La question n'est pertinente que si Abandon-retour = {Oui}

56. La parcelle garde-t-elle les mêmes caractéristiques?

1. Oui 2. Non

57. Si non, quelles sont les changements les plus importants?

La question n'est pertinente que si Caractéristiques parcelle = {Non}

58. Depuis quand?

La question n'est pertinente que si Caractéristiques parcelle = {Non}

59. Pourquoi?

60. Pensez-vous à faire d'autres modifications dans l'organisation ou le fonctionnement de la parcelle?

1. Oui 2. Non

La question n'est pertinente que si état de la parcelle # {abandonnée}

61. Comment

La question n'est pertinente que si état de la parcelle # {abandonnée} et perspectives = {Oui}

62. Pourquoi?

La question n'est pertinente que si état de la parcelle # {abandonnée}

63. pensez-vous à abandonner la parcelle?

1. Oui 2. Non

La question n'est pertinente que si état de la parcelle # {abandonnée}

64. Pourquoi?

La question n'est pertinente que si état de la parcelle # {abandonnée}

65. Si la parcelle est abandonnée, pourquoi?

La question n'est pertinente que si état de la parcelle = {abandonnée}

66. Depuis quand?

La question n'est pertinente que si état de la parcelle = {abandonnée}

67. Pensez-vous à faire le retour?

La question n'est pertinente que si état de la parcelle = {abandonnée}

68. Pourquoi?

La question n'est pertinente que si état de la parcelle = {abandonnée}

69. Y-a-t-il d'autres personnes qui vous aident à prendre vos décisions sur la parcelle?

1. Oui 2. Non

70. Si oui, lesquelles?

La question n'est pertinente que si aide-décision = {Oui}

71. Citez les difficultés rencontrées dans l'exploitation de la parcelle?

VI Identification de la propriété dans le secteur moderne

72. Possédez-vous une propriété dans le secteur moderne?

1. Oui 2. Non

73. Si oui, depuis quand?

La question n'est pertinente que si prop-Moderne = {Oui}

74. Quelle est sa superficie (ha)?

La question n'est pertinente que si prop-Moderne = {Oui}

75. Est-elle exploitée?

1. Oui 2. Non

La question n'est pertinente que si prop-Moderne = {Oui}

76. Si oui; quelle est la surface exploitée (ha)?

La question n'est pertinente que si Etat-prop-moder = {Oui}

77. Citez les cultures de la parcelle?

La question n'est pertinente que si Etat-prop-moder = {Oui}

78. quelle est la profondeur du forage (puit)?

La question n'est pertinente que si prop-Moderne = {Oui}

79. Le forage (puit) est équipé avec?

1. Pompe immergée 2. Pompe électrique
 3. moto-pompe (gazoil, essence)

Vous pouvez cocher plusieurs cases (2 au maximum).

La question n'est pertinente que si prop-Moderne = {Oui}

80. quelles sont les techniques d'irrigation utilisées?

1. submersion 2. Goute à goutte 3. Aspersion
 4. Pivôt 5. Autre

Vous pouvez cocher plusieurs cases.

La question n'est pertinente que si prop-Moderne = {Oui}

81. Pour stocker l'eau, vous utilisez?

1. Bassin en béton 2. Bassin en terre
 3. Sans stockage 4. Autre

Vous pouvez cocher plusieurs cases (3 au maximum).

La question n'est pertinente que si prop-Moderne = {Oui}

82. Avez vous bénéficié de l'aide de l'Etat pour financer la mise en valeur ou l'équipement de l'exploitation?

1. Oui 2. Non

La question n'est pertinente que si prop-Moderne = {Oui}

83. Les produits de la parcelle sont destinés à?

1. Auto-consommation 2. Marché 3. Autre

Vous pouvez cocher plusieurs cases.

La question n'est pertinente que si Etat-prop-moder = {Oui}

84. La parcelle est rentable?

1. Pas du tout 2. Phutôt non 3. Cela dépend de
 4. Phutôt oui 5. Tout à fait

La question n'est pertinente que si Etat-prop-moder = {Oui}

85. Pensez vous à abandonner la parcelle?

1. Oui 2. Non

La question n'est pertinente que si Etat-prop-moder = {Oui}

86. Pourquoi?

La question n'est pertinente que si Etat-prop-moder = {Oui}

87. Citez les difficultés rencontrées dans l'exploitation de la parcelle?

88. Si la parcelle n'a pas été exploitée, pour quoi?

La question n'est pertinente que si Etat-prop-moder = {Non}

89. La parcelle a-t-elle été exploitée puis abandonnée?

1. Oui 2. Non

La question n'est pertinente que si Etat-prop-moder = {Non}

90. Pourquoi?

La question n'est pertinente que si exploit-abandon = {Oui}

91. Pensez-vous à l'exploiter prochainement?

1. Oui 2. Non

La question n'est pertinente que si Etat-prop-moder = {Non}

92. Pourquoi?

93. quelles sont les difficultés rencontrées durant l'exploitation de la parcelle?

2-2 Le guide d'entretien sur la foggara :

Date :

Nom de l'oasis :

Nom de la foggara :

État de la foggara :

-Nom de l'interviewé :

Fonction dans le groupe :

Âge : fonction actuelle:

catégorie sociale :

Historique de la foggara :

- Installation, fonctionnement, gestion et partage ?
- Quelles sont les institutions qui organisaient le fonctionnement de la foggara, de son installation à la gestion et le partage ainsi que l'entretien ?
- Comment et pourquoi votre foggara est arrivée à cette situation ?

Transformations :

- Fonctionnement avant les années 1980, puis après?
Les causes de la dégradation et puis de l'abandon de la foggara (selon le cas) ?
(situation, évolution et son propre point de vue par rapport à la situation)
- Les premières règles qui ont été interrompues ? par qui ? et Comment ? comment cela a évolué ?
- Si la question de l'association n'a pas été abordée par lui-même : Quand et comment vous avez installé l'association ?
- Qui était le président ? et les membres ?
- Sont-ils les mêmes membres de la djemâa ? les mêmes familles dominantes ?
- Y avait-il un accord sur ces membres ? et entre les membres ? comment ont été choisis ?
- Y avait-il des problèmes entre la *djemâa* et l'association ? pourquoi et comment ?
- Y a-t-ils des puits dans les parcelles de la foggara ? pour quoi et comment les propriétaires ont commencé à faire des puits ? qui sont les premiers qui l'ont fait ?
- Coûts et profondeurs des puits ? qualité de l'eau ? équipements ?
- Que pensez-vous de l'avenir de la foggara et des parcelles qu'elle irrigue ? Pourquoi ?

2-3 Le guide d'entretien sur l'exploitation (jardin) :

- Nombre de propriétaires : Statut : Etat :
- Superficie : Equipements :
- Semences :
- Décrivez-moi la situation de la parcelle et son évolution (héritage, achat, vente, ...).
- Expliquez-moi comment votre famille est organisée aujourd'hui ?
- nombre de couples : nombre de générations : nombre d'enfants :
- mode d'organisation :
- nombre de fonctionnaires et nature de fonction dans chaque couple :
- Comment la décision familiale est prise sur la parcelle et la foggara ?
- Possédez-vous d'autres parcelles : tradi : MEV :
- Comment vous vous organisez pour assurer le travail de (s) parcelles ?
- Qui s'occupe du travail ? et pour combien du temps par jour ? jours par semaine ou par mois ?
- Recrutez-vous des salariés ? Si oui, nombre : Période (s): (estimer le nombre de jours/an) Pour quelles tâches ?

Parlez-moi de l'évolution de l'irrigation dans vos parcelles et de votre participation dans l'entretien et la gestion de la foggara :

Droit d'eau (fog/for) :

Evolution des cultures dans la parcelle :

- Avez-vous un puits ? oui non Si oui : date : individuel ou avec un (des) partenaire (s) ? pour combien de parcelles ?
- Pourquoi vous l'avez installé ?
- Coût et subvention : profondeur : qualité de l'eau : approfondissement : si oui, date et profondeur :
- Est-il installé dans le cadre d'un programme (PNDA par exemple) ?
- Techniques d'irrigation :
- Dans la MEV :
- Comment vous qualifiez aujourd'hui la situation de la foggara et son entretien et pourquoi ?
- Expliquez-moi la situation de la parcelle de MEV et comment elle a évolué ?
- Propriétaires :

- Organisation :
- Travail :
- Salariés :
- Equipements :
- Historique :
- Comment l'agriculture participe-t-elle dans l'alimentation et les revenus de la famille ?
 - Produits et quantités :

Revenus :

Le surplus en production est-il destiné au marché ? si oui, quel sont ces produits ? et les quantités ?

Sont-ils commercialisés régulièrement ? , où ?

Si non, comment gérez-vous le surplus ?

- comment partagez-vous les revenus des parcelles? et les autres revenus hors l'agriculture?

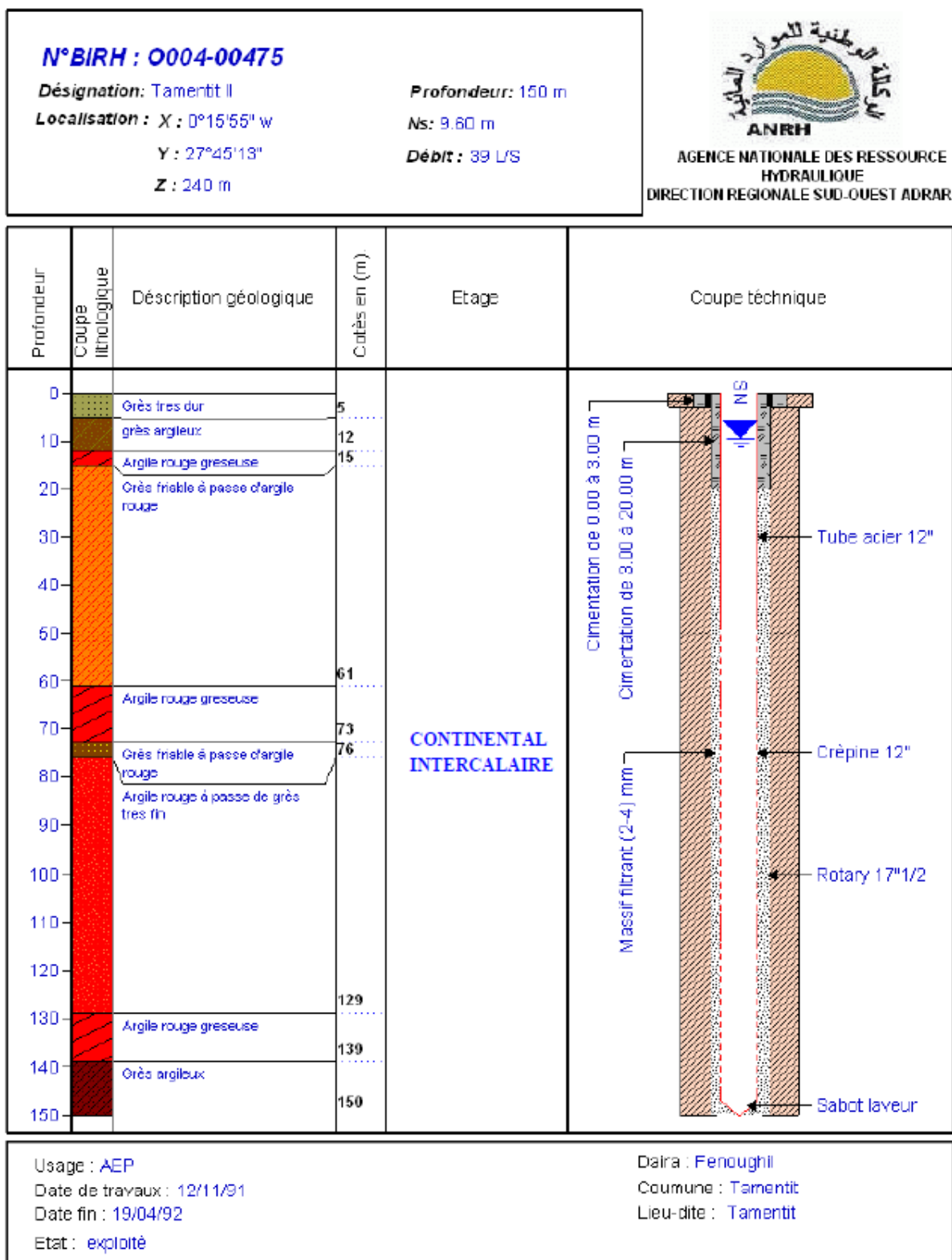
Avez-vous un cheptel ? Si oui, combien de tête ?

Comme bien ça représente par rapport à votre consommation annuelle ? Est-il destiné au marché aussi ? Si oui, combien de tête vendez-vous par an ?

- Que pensez-vous de futur de vos parcelles et de la foggara ?

Annexe 3 : Quelques coupes lithologiques dans des forages

3-1 forage à Tamentit :



3-2 : forage à Reggane :**N°BIRH :**

Désignation: Reggane A9

Profondeur: 100 m

Localisation : X :

Ns: 15.20 m

Y :

Débit : 20 L

Z :



AGENCE NATIONALE DES RESSOURCES
HYDRAULIQUES
DIRECTION REGIONALE SUD-OUEST ADRAR

Profondeur	Coupe lithologique	Description géologique	Cotés en (m).	Etage	Coupe technique
0					
10		Grès dur gris à rose gravier et sable à rarement des argiles	7		<p>Tube guide 10"5/8</p> <p>Casing API 15" (65 m)</p> <p>Crépine Johnson 8"5/8 (24 m)</p> <p>Cone de réduction 15" X 8"5/8 (1 m)</p> <p>Tube de décantation 8"5/8 (5 m)</p>
20		Grès graveleux à ciment d'argile	21		
30		Argile moue et blanc à passage de grés	26		
40		Grés à ciment argileux	36		
50		Sable fin argileux	51		
60		Sable fin argileux avec un passage des mernes	62		
70		Sable fin argileux et un peu des grés	65		
80		Grés peu argileux à passage de merne blanc	75		
90		Grés dur très quartzeux	92		
100		Sable argileux à passage de grés	93		
110		Grés quartzeux argileux	95		
120		Argile gréseuse rougeâtre avec intercalation des marnes	105		
130		Argile et marne à passage de grés	108		
140		Argile rouge et blanc gréseux	117		
150		Grés blanc à ciment argileux rouge et vert	135		
		Grés blanc à ciment argileux rouge et argile rouge	150		

Usage :

Date de travaux : 27/04/2007

Date fin : 06/08/2007

Etat :

Daira : Reggane

Commune : Reggane

Lieu-dite :

3-3 : forage à Adrar :**N° BIRH : N004-00568**

Designation: Tillane VI

Profondeur: 150 m

Localisation : X : 0°15'02" w

Ns: 11.66 m

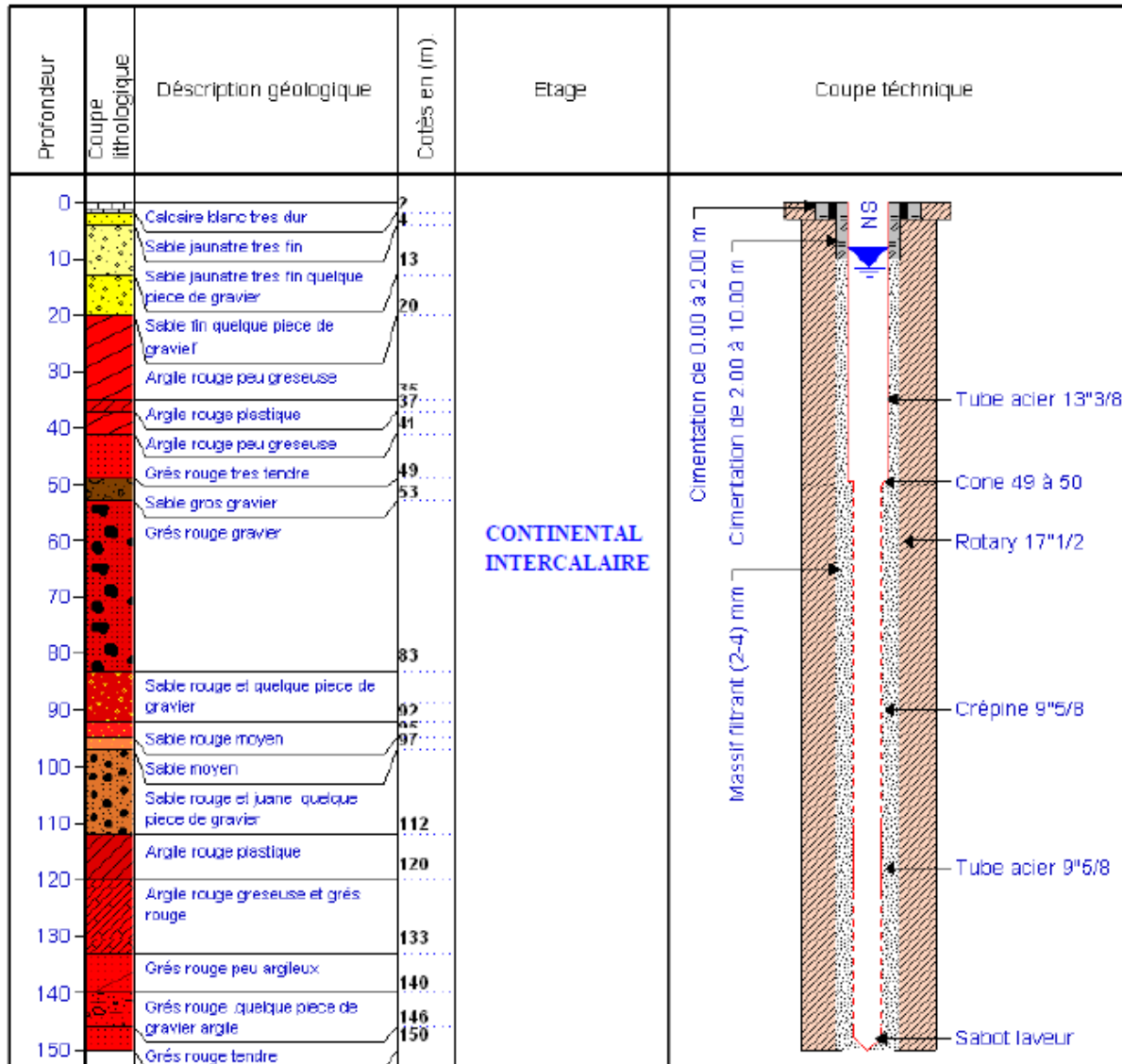
Y : 27°55'09"

Débit : 50 US

Z : 268 m



AGENCE NATIONALE DES RESSOURCES
HYDRAULIQUES
DIRECTION REGIONALE SUD-OUEST ADRAR



Usage : AEP

Date de travaux : 14/11/02

Date fin : 14/04/03

Etat : Non exploité

Daira : Adrar

Commune : Adrar

Lieu-dite : Tillane

4. Liste des sigles utilisés :

ADICO : Attribute, Deontic, Aim, Condition, Or_else.

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.

CNAC : Caisse Nationale d'Assurance Chômage.

ANSEJ : Agence Nationale de Soutien à l'Emploi de jeunes.

APFA : Accession à la Propriété Foncière Agricole.

CAAS : Complexe Agro-alimentaire du Sud.

CI : Continental Intercalaire.

CCLS : Coopératives de Céréales et de Légumes Secs.

Commod : Companion Modelling.

CORMAS: Common Pool resources Multi-Agents Systems.

CT : Complexe Terminal.

DSA : Direction des Services Agricoles.

DPAT : Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire.

DRE : Direction des Ressources en Eau.

EAC : Exploitations Agricoles Collectives.

IAD : Institutional Analysis and Developement.

MAIA: Modeling Agents based on Institutional Analysis.

MODFLOW: Modular three-Dimensional Finite-Difference Groundwater Flow Model.

SMA : Système Multi-Agents.

MBA : Modélisation à Base d'Agents.

OAIC : Office Algérien Interprofessionnel des Céréales.

ONAB : Office Nationale des Aliments de Bétails.

PNDA : Plan National de Développement Agricole

Résumé :

Depuis environ cinq décennies, le Sahara algérien fait l'objet de multitudes interventions qui visent l'amélioration des conditions de vie de la population locale, l'intégration des territoires de sud dans le territoire national et le développement d'une agriculture saharienne qui peut contribuer à atteindre l'autosuffisance alimentaire de l'Algérie. Dans les zones de Touat, Gourara et Tidikelt, de nouveaux périmètres de mise en valeur agricole ont été mis en place à côté des anciennes oasis. Ces dernières se distinguent du système d'irrigation communautaire des foggaras mis en difficulté après l'introduction des forages exploitant l'eau souterraine pour l'irrigation de manière intensive et les mutations profondes qui touché aux différents aspects de la vie oasisienne. Cette nouvelle situation a été accompagnée d'un discours sur le déclin des foggaras et, par conséquent, de l'agriculture oasisienne « traditionnelle » considérées incapables de faire face aux transformations sociales, économiques et environnementales récentes. Ce travail s'inscrit en faux contre cette thèse du déclin des foggaras et souhaite explorer non seulement les ruptures mais aussi les continuités du système oasisien à foggara. L'objectif de cette thèse est d'analyser les fondements de la résistance du système oasisien à foggara à la lumière des transformations sociales, économiques et environnementales récentes. Cette recherche vise en particulier à démontrer les conditions qui ont permis la durabilité de l'agriculture dans ces régions, et contribuer au renouveau de l'agriculture saharienne, *traditionnelle et moderne*, dans le contexte d'Adrar.

Mots clés : *oasis - foggara – institutions – agriculture saharienne – Adrar.*

Abstract:

Since about five decades, the Algerian Sahara has been the subject of many interventions aimed at improving the living conditions of the local population, the integration of the southern territories into the national territory and the development of a Saharan agriculture that can contribute to achieving food self-sufficiency in Algeria. In the areas of Touat, Gourara and Tidikelt, new agricultural development schemes have been set-up alongside the old oases. The latter are very different from the community irrigation system of foggara, which have experienced difficulty after the introduction of boreholes exploiting groundwater for intensive irrigation. This new situation was accompanied by a discourse on the decline of foggaras and, consequently, of "traditional" oasis agriculture considered unable to face recent social, economic and environmental transformations. This work contradicts this thesis of the decline of the foggaras and wishes to explore not only the changes but also the continuities of the foggara oasis system. The aim of this thesis is then to analyze the resistance of the foggara oasis system in the light of recent social, economic and environmental transformations. This research aims in particular to understand the conditions that have allowed the sustainability of agriculture in these regions, and contribute to the revival of Saharan agriculture, traditional and modern, in the context of Adrar.

Key words: *oasis - foggara - institutions - Saharan agriculture - Adrar.*

الملخص:

تشكل الصحراء الجزائرية منذ حوالي خمسة عقود من الزمن وجهة لعدة برامج تنموية تهدف الى تحسين مستوى معيشة السكان المحليين و تعزيز ادماج الجنوب كجزء من التراب الوطني و كذا تنمية فلاحية صحراوية قادرة على المساهمة في الوصول الى الاكتفاء الغذائي الذاتي الوطني. في مناطق توات و قورارة و تيديكلت، تم انشاء محيطات فلاحية جديدة الى جانب الواحات القديمة. تتميز هذه الاخيرة بنظام سقي جماعي يعرف بالفقارة و الذي أضحي أقل فعالية بسبب منافسة الابار التي تستغل المياه الجوفية لغرض السقي اضافة الى التحولات العميقة التي مست مختلف جوانب الحياة الواحية. رافق هذه الوضعية حديث عن حتمية زوال نظام الفقارة، و بالتالي زوال الفلاحة الواحية التقليدية التي اعتبرت غير قادرة على مجابهة التحولات الاجتماعية و الاقتصادية و البيئية الحديثة. يأتي هذا العمل لتفنيد هذه الأطروحة و ذلك بإبراز كل من مظاهر التواصل و الاندثار معا في نظام الفقارة. تهدف هذه الأطروحة الى تحليل أسس قوة النظام الواحي في ضوء التحولات الاجتماعية و الاقتصادية و البيئية الحديثة. يهدف هذا البحث بشكل خاص الى ابراز العوامل التي سمحت بديمومة الفلاحة في هذه المناطق و الى المساهمة في تجديد الفلاحة الصحراوية التقليدية و الحديثة في أدرار.

كلمات مفتاحية : الواحة – الفقارة – المؤسسات - الفلاحة الصحراوية – أدرار.